INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBLOUX

Tome XXIII, n° 3. 1955

BULLETIN

DE

L'INSTITUT AGRONOMIQUE

ET DES

STATIONS DE RECHERCHES

DE

GEMBLOUX

IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
BRUXELLES

COMMONWEALTH MYCOLOGICAL INSTITUTE
19 OCT 1955

Sommaire

BALLIGAND, E. — Note sur l'usinage des bois à la scie à ruban . . . 239

BONNET, J. et COPPENS, R. — L'absorption des éléments nutritifs par le houblon 248

BRENY, R. — L'éclosion de l'œuf de *Neodiprion sertifer*, Geoffr. . . . 260

DESCHREIDER, A. R. et RENARD, M. — Les produits de la dégradation du l-tryptophane sous l'action des rayons ultra-violets 269

LENGER, A. — A propos d'une loi mathématique simple concernant la structure équilibrée des peuplements forestiers 284

PECROT, A. — Différentes relations entre l'apparition de la gélivure chez le peuplier euraméricain et les principaux caractères morphologiques du sol en Belgique 301

THOMAS, R. — Des facteurs régissant, sous les tropiques, la répartition des formations forestières 317

TONNARD, V. — L'aide pratique apportée par les photos aériennes . . . 336

Note. — GERLAXHE, S. et CASIMIR, J. — Note concernant la séparation des acides ω aminés par chromatographie sur papier en présence de tampon 352

BIBLIOGRAPHIE 355

COMMUNIQUE. — Concours pour le PRIX PROFESSEUR HENRI ZWAENEPOEL 356

Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leurs auteurs.

Le *Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux* paraît normalement quatre fois par an.

Le prix de l'abonnement est de 175 francs par an, somme à verser au compte de chèques postaux n° 7621.08 du Bulletin de l'Institut Agronomique de Gembloux (Belgique) ou à payer par mandat postal.

Prix du présent numéro : 70 francs. Pour la commande, prière de s'adresser au Secrétariat du *Bulletin*.

a) **Le Bulletin sera envoyé en échange des publications similaires des Etablissements d'Enseignement Supérieur, des publications périodiques des Sociétés scientifiques et des Revues Scientifiques en général.**

b) **Tout ouvrage scientifique dont un exemplaire est adressé à la Rédaction, sera signalé sous la rubrique « Livres reçus ».**

Toute reproduction des articles parus dans le Bulletin est strictement interdite sans autorisation du Comité de Rédaction.

INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBLOUX

Tome XXIII, n° 3. 1955

BULLETIN

DE

L'INSTITUT AGRONOMIQUE

ET DES

STATIONS DE RECHERCHES

DE

GEMBLOUX

IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
BRUXELLES

SERVICE DU GENIE RURAL
(Prof. C. DRICOT)

Note sur l'usinage des bois à la scie à ruban (*)

par
E. BALLIGAND

I. — PRELIMINAIRES ET PRINCIPES DE MESURE

L'usinage à la scie est parmi les opérations de mise en œuvre du bois, celle qui requiert le plus d'énergie. Cet usinage en impose la consommation dans le plan vertical et dans le plan horizontal (fig. 1).

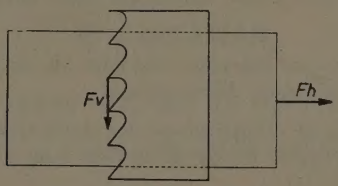


FIG. 1

La force verticale Fv est l'action de la scie sur le bois dans le plan vertical.

La force horizontale F_h est l'action du bois sur la scie dans le plan horizontal.

La force verticale Fv est généralement supérieure à la force horizontale Fh et alors que Fh déplace son point d'application avec le bois de quelques centimètres par seconde, Fv déplace le sien avec l'outil de 30 mètres par seconde.

Le travail de Fv pendant l'unité de temps en est d'autant plus grand et la recherche des conditions du travail minimum de cette force constitue l'objet de cette étude.

(*) Déposé à la rédaction le 6 juillet 1955.

L'énergie requise dans le plan vertical est fournie par le moteur qui entraîne la scie. La mesure de cette énergie peut être faite par celle de l'énergie fournie au moteur (**).

Dans ce cas, il faut s'assurer :

1. que l'énergie cinétique du système entraîné par le moteur soit invariable au cours de l'essai ;
2. que le rendement de ce système ne varie pas avec la charge à l'outil.

Une autre solution est la détermination directe de la force Fv. C'est la méthode choisie dans cette étude.

Le dynamomètre qui a permis cette détermination est conçu suivant la propriété bien connue des jauges de contrainte, d'épouser les déformations superficielles des pièces métalliques sur lesquelles elles sont appliquées.

Il comporte quatre jauges actives montées en pont et appliquées sur deux anneaux (***) dynamométriques sollicités intégralement par la force Fv.

Un galvanomètre à miroir mesure le déséquilibre du pont qui est proportionnel à la force Fv.

Cette force n'est pas constante au cours du sciage. Elle varie autour d'une valeur moyenne et ses variations sont enregistrées sur papier-photo sensible.

La fig. 2 montre un fragment du film du sciage d'une éprouvette de Limba et son diagramme d'étalonnage.

Dans le diagramme d'étalonnage, les déflections du spot lumineux correspondent à des forces Fv de 5, 4, 3 et 2 kg.

Les conditions du sciage sont les suivantes :

Scie	Dents écrasées Pas : 30 mm Vitesse : 37,5 m/s.
Débit	31,25 cm^2/s.

(**) Les problèmes de la rationnalisation dans les scieries - Extrait des Comptes rendus des Journées d'Etudes sur la Mécanisation de l'Agriculture au Congo Belge, les 8 et 9 octobre 1954, par R. ANTOINE, Directeur du Laboratoire Forestier de l'Université de Louvain.

(***) Etude d'anneaux circulaires à forte courbure relative, sollicités par deux forces diamétralement opposées - Extrait de la 4me livraison 1940 des Annales de Mines de Belgique par L. BLANJEAN, professeur à l'institut agronomique de Gembloux.

Le débit d'un sciage est la section tranchée par la scie dans l'unité de temps.

L'éprouvette se présente sous la forme d'une planchette de 250 mm x 165 mm x 20 mm. Elle repose uniquement sur les anneaux dynamo-

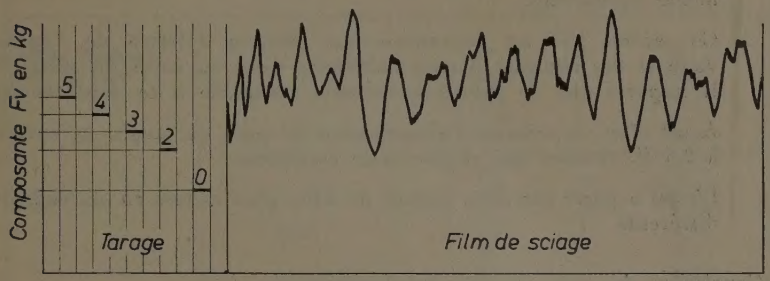


FIG. 2

métriques. La scie la dédouble en 10 mm d'épaisseur. Les 250 mm sont pris dans la largeur des planches fournies par la scierie. Il s'agit d'un sciage radial où la scie rencontre simultanément autant de bois de printemps que de bois d'été.

II. — LES ESSAIS

A. LES TESTS IMPOSES AU DYNAMOMETRE

Les tests imposés au dynamomètre sont axés sur la reproductibilité des résultats.

Ils ont une double portée :

1. La reproductibilité des résultats d'une éprouvette à une autre. Le dynamomètre y satisfait. Le sciage dans les mêmes conditions de plusieurs éprouvettes identiques de Limba, a donné les valeurs extrêmes 5 kg et 5,250 kg à l'outil.

Les conditions du sciage sont les suivantes :

Scie	Dents écrasées Pas : 30 mm Vitesse : 30 m/s
Débit	25 cm^2/s

Par éprouvettes identiques, il faut entendre des éprouvettes de même humidité, de mêmes dimensions géométriques, de même poids et présentant le même aspect ;

2. La reproductibilité des résultats dans le cours du sciage d'une même éprouvette.

Ce second test est nécessaire. La position relative de l'éprouvette et des anneaux dynamométriques varie au cours du sciage et il importe que le galvanomètre soit insensible à ce déplacement.

A cet effet, la tension d'alimentation du pont de jauges est réduite à 2,5 V, tension qui réalise cette condition.

L'essai a porté sur deux mètres de film, planimétrés en six endroits différents.

Conclusion des tests imposés au dynamomètre

Toute partie du sciage d'une éprouvette peut être significativement comparée à toute partie du sciage d'une autre, en entendant par différences significatives, celles supérieures à 5 %.

B. LES ESSAIS PROPREMENT DITS

Le but principal poursuivi dans les essais est de fixer rationnellement les conditions économiques du sciage du Limba.

Le Limba est un bois tropical. Ses caractéristiques communiquées par le Laboratoire Forestier (*) sont à 12 % d'humidité, les suivantes :

Dureté	2
Densité	0,573
Point de saturation à l'air	25 %
Charge de rupture en compression axiale	550 kg/cm²
Charge de rupture en flexion transversale	1000 kg/cm²
Charge de rupture en traction perpendiculaire aux fibres	23 kg/cm²

De façon à délimiter dans le vaste domaine des conditions du sciage la zone intéressante à étudier, les essais préliminaires sont organisés de façon suivante :

(*) Nous tenons à remercier vivement M. FOUARGE, Directeur du Laboratoire Forestier, d'avoir mis complaisamment sa scierie à notre disposition à l'occasion de ces essais.

PLAN DE PROSPECTION

Type de scie	Vitesse linéaire de l'outil en m/s	Avancement de l'éprouvette en mm/s	Débit du sciage en cm^2/s
Dents écrasées ; pas, 30 mm	30	10	25
		12,5	31,25
		15	37,50
		17,5	43,75
		22,5	56,25
	37,5	10	25
		12,5	31,25
		15	37,50
		17,5	43,75
		20	50
		22,5	56,25
	45	10	25
		12,5	31,25
		15	37,50
		17,5	43,75
		20	50
		22,5	56,25

1. Variation de la composante verticale Fv en fonction du débit pour les vitesses de l'outil de 30 m/s, 37,5 m/s et 45 m/s.
Le planimétrage des 17 films obtenus a donné les résultats consignés dans le tableau I.

TABLEAU I

Avancement en mm/s	Débit en cm^2/s	Composante verticale Fv en kg, pour les vitesses suivantes de l'outil		
		30 m/s	37,5 m/s	45 m/s
10	25	5.10	4.90	3.50
12,5	31,25	6.00	5.75	5.00
15	37,50	6.65	6.50	5.00
17,5	43,75	7.00	6.80	5.30
20	50	—	6.80	6.50
22,5	56,25	7.30	6.80	7.80

Le diagramme I exprime graphiquement ces résultats.

Ce diagramme montre que :

1) pour une vitesse déterminée de l'outil, la force Fv n'est pas une fonction linéaire du débit ;
2) pour les faibles débits, la force Fv est inversement proportionnelle à cette vitesse.

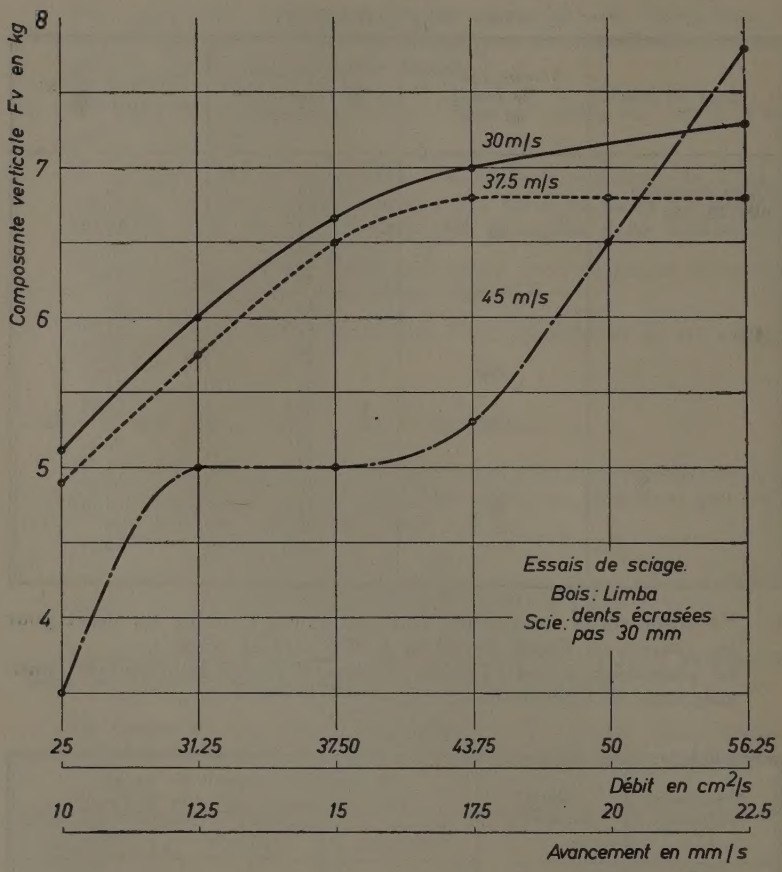


DIAGRAMME I

2. Variations de la puissance de l'outil en fonction du débit pour les vitesses de l'outil de 30 m/s, 37,5 m/s et 45 m/s.

Pour arriver à la notion du travail spécifique de l'outil, c'est-à-dire du travail de la force Fv par cm^2 de section sciée, il importe de compléter le diagramme I de la composante verticale en fonction du débit par celui de la puissance de l'outil en fonction du débit.

Le tableau II rapporte les valeurs numériques permettant son tracé. Elles sont obtenues en multipliant les valeurs de Fv du tableau I par la vitesse linéaire correspondante de l'outil.

TABLEAU II

Avancement en mm/s	Débit en cm^2/s	Puissance en kgm/s pour les vitesses suivantes de l'outil		
		30 m/s	37,5 m/s	45 m/s
10	25	153	173	157
12,5	31,25	180	215	225
15	37,5	199	243	225
17,5	43,75	210	255	238
20	50		255	292
22,5	56,25	219	255	355

Le diagramme II exprime graphiquement ces résultats.

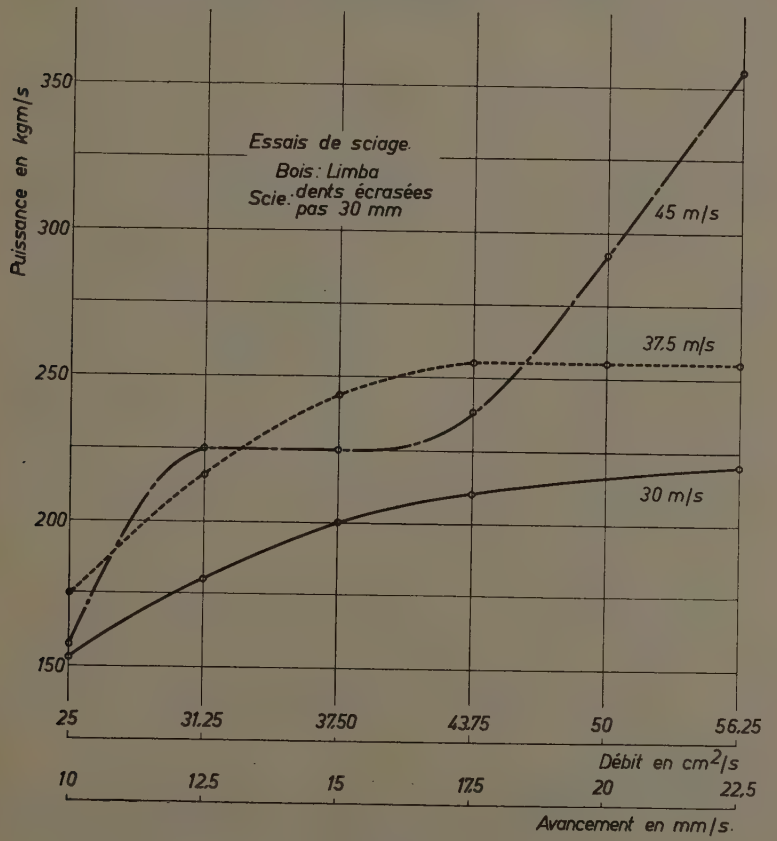


DIAGRAMME II

Ce diagramme montre la consommation importante d'énergie aux grandes vitesses de l'outil.

3. Variation du travail spécifique de l'outil en fonction du débit pour les vitesses de l'outil de 30 m/s, 37,5 m/s et 45 m/s.

Les valeurs du tableau III expriment cette variation. Chacune d'elles résultent de la division de la puissance de l'outil par le débit correspondant.

TABLEAU III

Avancement en mm/s	Débit en cm^2/s	Travail spécifique de Fv en kgm/cm^2 pour les vitesses suivantes de l'outil		
		30 m/s	37,5 m/s	45 m/s
10	25	6,12	6,95	6,3
12,5	31,25	5,76	6,90	7,2
15	37,5	5,32	6,50	6,0
17,5	43,75	4,80	5,82	5,45
20	50		5,10	5,85
22,5	56,25	3,89	4,53	6,32

Le diagramme III exprime graphiquement ces résultats.

Ce diagramme permet de tirer les conclusions des essais préliminaires.

CONCLUSIONS DES ESSAIS PRELIMINAIRES

1. L'énergie requise au sciage des bois peut varier du simple au double avec les conditions du sciage.

2. Les faibles vitesses de l'outil doivent seules être retenues dans les travaux ultérieurs.

3. Il serait opportun de revoir la classification des bois en bois proportionnels et bois logarithmiques. Les bois sont en effet classés de la sorte quant à leur comportement sous la scie.

Dans les bois proportionnels, le travail spécifique de l'outil augmente avec le débit ; dans les bois logarithmiques, il diminue.

L'essai à 45 m/s montre que le Limba est consécutivement l'un et l'autre.

4. Un type de machine de scierie peut être rationalisé. Pour un outil et un débit de sciage identiques, plus la vitesse de l'outil est faible et plus la force horizontale d'amenage du bois est élevée. Dans ces

conditions, il est nécessaire que cette force soit statiquement équilibrée par un galet situé derrière l'outil afin que celui-ci ne puisse reculer sur les poulies.

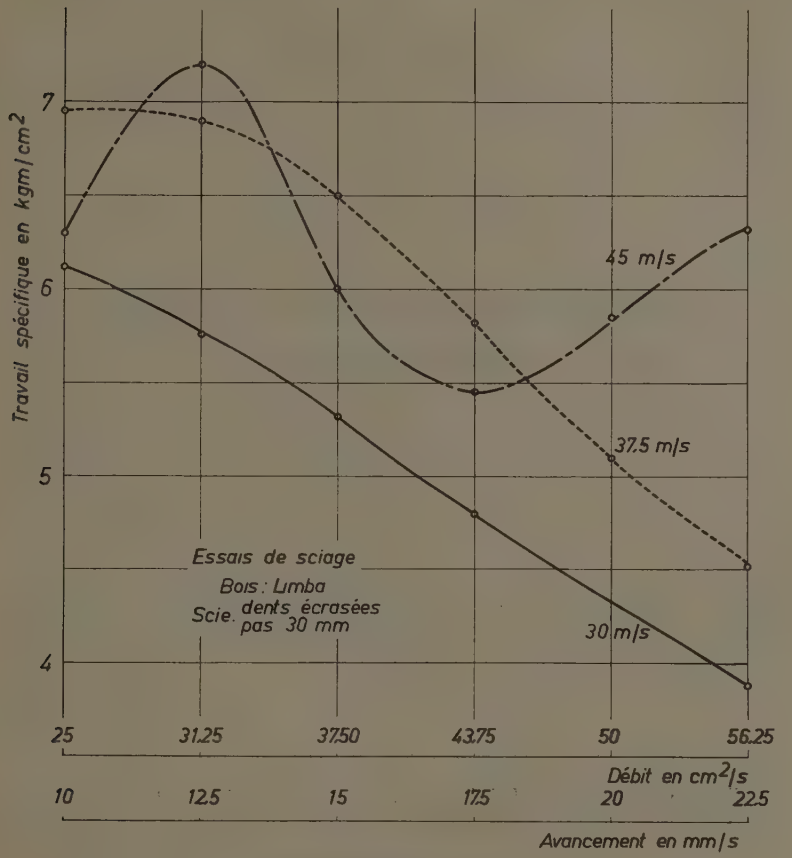


DIAGRAMME III

C'est sur ces bases que sont entrepris les essais qui fixeront les conditions du rendement maximum de l'usinage du Limba à la scie à ruban.

Des données analogues et relatives à d'autres essences, justifieront le tracé d'une abaque qui fournira les indications nécessaires au sciage économique des principaux bois exploités par l'industrie.

TECHNOLOGIE

L'absorption des éléments nutritifs par le houblon (*)

par

J. BONNET et R. COPPENS

Travail exécuté sous les auspices de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique pour l'Industrie et l'Agriculture (IRSIA) et l'Institut National Belge du Houblon

Poursuivant le travail entrepris depuis 1941, nous avons examiné les variétés de houblon de la récolte 1953, qui nous ont été adressés par l'I. N. B. H.

(*) Déposé à la rédaction le 13 mai 1955.

RECOLTE 1953

ANALYSE DES PLANTES SECHEES A 35-40°

Variétés et dates de récolte	Poids de la plante après dessication en gr	Humidité restante %	N %	P_2O_5 %	CaO %	MgO %	K_2O %	Na_2O ‰	Mn ppm	Observations
Groene Bel										
9 juillet	384	11.92	3.08	0.77	3.58	0.57	4.10	0.56	17	
1 août	875	12.23	2.77	0.69	3.34	0.42	2.82	0.36	22	sans cônes
23 septembre	1075	11.87	1.60	0.77	3 39	0.64	3.40	0,36	22	sans cônes
Hybride V/69										
9 juillet	428	12.40	3 08	0.83	3.22	0.58	4.95	0.66	20	
1 août	709	12 21	2.65	0.73	2.61	0.56	3 35	0.45	14	
19 septembre	1125	11.67	1.69	0.37	1.77	0.27	2.13	0.53	11	sans cônes
Hallertau										
1 juillet	320	12.43	3.44	0.76	2.48	0.47	3.36	0.39	21	
9 juillet	426	12.21	2.73	0.72	2.91	0.47	3.47	0.87	29	
22 juillet	769	12.48	2.62	0.65	2.38	0.51	2.80	1.20	19	
1 août	762	12.35	2.66	0.62	3.16	0.70	2.82	0.52	11	
12 août	1439	12.37	2.39	0.76	3.16	0.52	2.32	0.41	16	
8 septembre	1133	11.48	1.79	0.42	2.87	0.41	2.10	0.72	14	sans cônes
11 septembre	1917	12.67	2.16	0.64	2.96	0.48	2.47	0.74	15	
Tettnang 101										
1 juillet	420	12.11	3.16	0.79	2.19	0.48	3.70	0.39	27	
9 juillet	513	11.96	3.08	0.81	2.95	0.46	4.17	0.87	22	
22 juillet	923	12.82	2.87	0.68	2.62	0.59	3.47	0.53	11	
1 août	872	13.03	2.58	0.69	3.03	0.59	3.32	0.49	15	
12 août	1492	12 04	2 39	0.76	2.85	0.47	2.73	0.43	15	
11 septembre	1206	13.02	1.83	0.40	3.21	0.47	2.72	0.81	15	sans cônes

Variétés et dates de récolte	Poids de la plante après dessication en gr	Humidité restante %	N %	P_2O_5 %	CaO %	MgO %	K_2O %	Na_2O ‰	Mn ppm	Observations
Tettnang										
12 septembre	1893	12.88	2.04	0.74	2.59	0.51	2.95	0.83	62	
Northern Brewer										
9 juillet	390	13	3.02	0.78	2.69	0.61	3.32	0.87	27	
1 août	567	13.20	2.38	0.77	3.74	0.71	2.98	0.56	21	sans cônes
14 septembre	921	16.65	2.56	0.57	3.30	0.72	2.20	0.76	35	sans cônes
Early Promise										
9 juillet	343	12.08	3.19	0.93	2.61	0.76	4.30	0.53	33	
1 août	818	13.54	2.53	0.77	2.54	0 64	3.40	0.36	22	sans cônes
23 septembre	1032	12.53	1.51	0.39	2 61	0.43	1.86	0.66	21	sans cônes
Styrian Goldings										
9 juillet	342	12 06	3.08	0.83	2.48	0.85	4.52	0.59	20	
1 août	707	12.82	2.66	0.67	3.04	0.57	3.39	0.36	23	sans cônes
17 septembre	1190	13.25	2.11	0.42	3.59	0.66	2.53	0.63	52	sans cônes
Saaz										
9 juillet	466	11 96	2.80	0 76	2 58	0.57	3.87	0.78	22	
1 août	939	12.78	2.24	0.64	2.19	0.37	3.07	0 39	20	sans cônes
31 août	907	10.87	2.02	0.47	2.75	0.39	2.10	0.72	19	sans cônes

En ramenant les chiffres précédents en pour cent de matière sèche, nous obtenons les valeurs suivantes :

Variétés et dates de récolte	Poids de la matière sèche de la plante en gr	N %	P_2O_5 %	CaO %	MgO %	K_2O %	Na_2O ‰	Mn ppm	Observations
Groene Bel									
9 juillet	338.2	3 49	0.87	4.06	0.64	4.65	0.03	19	
1 août	768	3.15	0.78	3.71	0 48	3.21	0.41	25	sans cônes
13 septembre	947.4	1.81	0.87	3.73	0.72	3.85	0 41	25	sans cônes
Hybride V/69									
9 juillet	374 9	3.51	0.94	3.67	0.66	5.65	0.75	23	
1 août	622.4	3.02	0.83	2.97	0.63	3.81	0.51	16	sans cônes
19 septembre	993.7	1.91	0.42	2	0.30	2.41	0.60	12	sans cônes
Hallertau									
1 juillet	280.2	3 93	0.86	2.83	0.54	3.83	0.44	24	
9 juillet	374	3.10	0.82	3.31	0.53	3.95	0.99	33	
22 juillet	673	3	0.74	2.72	0.58	3.20	1.37	22	
1 août	668	3.03	0.70	3 49	0.80	3.20	0.59	12	sans cônes
12 août	1261	2.72	0.86	3.60	0.59	2.65	0.45	18	
8 septembre	1003	2.02	0 47	3 24	0.46	2.37	0 81	16	sans cônes
11 septembre	1674	2.47	0.73	3.30	0.55	2.84	0.85	17	
Tettnang 101									
1 juillet	369	3.60	0.90	2.49	0.55	4.20	0.44	31	
9 juillet	451.6	3.49	0.92	3.35	0.52	5.07	0.98	24	
22 juillet	717.5	3.29	0 77	3	0.57	3.98	0.61	12	
1 août	758.4	2 96	0.79	3.48	0.67	3.81	0.56	17	
12 août	1312.4	2.71	0.86	3.24	0.53	3.11	0.48	17	sans cônes
11 septembre	1049	2.10	0.45	3.69	0.54	3.13	0.93	17	

Variétés et dates de récolte	Poids de la matière sèche de la plante en gr	N %	P_2O_5 %	CaO %	MgO %	K_2O %	Na_2O ‰	Mn ppm	Observations
Tettnang									
12 septembre	1649.2	2.34	0.85	2.97	0.58	3.39	0.95	71	
Northern Brewer									
9 juillet	339.3	3.47	0.89	3.09	0.70	3.82	1	31	
1 août	579	2.73	0.89	4.30	0.82	3.43	0.64	24	sans cônes
14 septembre	767.6	3.07	0.68	3.96	0.86	2.64	0.91	41	sans cônes
Early Promise									
9 juillet	301.6	3.63	1.05	2.97	0.86	4.89	0.60	26	
1 août	715.4	2.89	0.88	2.90	0.73	3.89	0.41	25	sans cônes
23 septembre	902.7	1.73	0.45	2.98	0.49	2.13	0.75	24	sans cônes
Styrian Goldings									
9 juillet	300.7	3.50	0.94	2.82	0.96	5.14	0.67	22	
1 août	616.4	3.05	0.77	3.49	0.65	3.89	0.41	26	sans cônes
17 septembre	954.3	2.43	0.48	4.14	0.76	2.92	0.73	60	sans cônes
Saaz									
9 juillet	410.3	3.18	0.86	2.93	0.64	4.39	0.89	25	
1 août	819	2.57	0.73	2.51	0.42	3.52	0.45	23	sans cônes
31 août	808.4	2.26	0.53	3.08	0.44	2.35	0.81	21	sans cônes

Analyse des cônes — Teneur en éléments, par rapport à la matière sèche

Variétés et dates de récolte	Poids de la M.S. en gr	N %	P_2O_5 %	CaO %	MgO %	K_2O %	Na_2O ‰	Mn ppm	Observations
Groene Bel									
1 août	32.9	5.33	0.66	3.90	1.12	3.21	0.46	354	
23 septembre	1141.1	2.78	1.13	1.36	0.67	3.15	1.28	25	
Hybride V/69									
1 août	18	5.79	2.18	1.37	0.84	3.66	0.27	45	
19 septembre	609	4.57	1.23	1.43	0.58	2.95	0.35	24	
Hallertau									
1 août	37.1	5.96	2.08	1.56	0.76	3.18	0.30	24	
8 septembre	750	2.89	1.22	1.05	0.88	3.01	0.41	17	
Tettnang 101									
11 septembre	713	2.95	1.21	2.48	0.61	3.08	1.23	24	
Northern Brewer									
1 août	22.1	4.92	2.13	1.11	0.82	3.29	0.52	52	
14 septembre	504	2.67	2.11	1.36	0.52	2.61	0.25	37	
Early Promise									
1 août	18.7	5.27	1.97	1.77	0.71	3.12	0.30	42	
23 septembre	974	2.52	1.09	1.20	0.89	2.66	0.88	27	
Styrian Goldings									
1 août	38.4	5.40	2.11	1.19	0.85	3.63	0.30	51	
17 septembre	642	2.74	1.22	1.33	0.59	3.12	0.46	48	
Saaz									
1 août	44.8	5.06	2.55	1.26	0.84	3.88	0.27	44	
31 août	631	2.84	1.21	0.63	0.54	3	0.41	26	

Poids en grammes et par plante, de chaque élément enlevé au sol

Variétés et dates de récolte	Matière sèche	N	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Mn	Observations
Groene Bel									
9 juillet	338.2	11.80	2.94	13.73	2.16	15.73	0.213	0.0064	
1 août	768	24.19	5.99	28.49	3.69	24.65	0.315	0.0192	sans cônes
	32.9	1.75	0.22	1.28	0.37	0.76	0.015	0.0051	cônes
	800.9	25.94	6.21	29.77	4.06	25.41	0.330	0.0243	*total au 1 août*
23 septembre	947.4	17.15	8.24	35.34	6.82	36.47	0.388	0.0237	sans cônes
	1141.1	31.72	12.89	15.52	7.65	35.94	1.460	0.0285	cônes
	2088.5	48.87	21.13	50.86	14.47	72.41	1.848	0.0522	*total au 23 septembre*
Hybride V/69									
9 juillet	374.9	13.16	3.52	13.76	2.47	21.18	0.281	0.0086	
1 août	622.4	18.80	5.17	18.49	3.92	23.71	0.317	0.0100	sans cônes
	18	1.04	0.39	0.25	0.15	0.66	0.005	0.0008	cônes
	640.4	19.84	5.56	18.74	4.07	24.37	0.322	0.0108	*total au 1 août*
19 septembre	993.7	18.98	4.17	19.87	2.98	23.95	0.596	0.0119	sans cônes
	609	27.83	7.49	8.71	3.53	17.97	0.213	0.0146	cônes
	1602.7	46.81	11.66	28.58	6.51	41.92	0.809	0.0265	*total au 19 septembre*
Hallertau									
1 juillet	280.2	11.01	2.41	7.93	1.51	10.73	0.123	0.0027	
9 juillet	374	11.59	3.07	12.38	1.98	14.77	0.370	0.0123	
22 juillet	673	20.19	4.98	18.30	3.90	21.54	0.922	0.0148	
1 août	668	20.24	4.68	23.31	5.34	21.38	0.394	0.0080	sans cônes
	37.1	2.21	0.77	0.58	0.28	1.18	0.011	0.0009	cônes
	705.1	22.45	5.45	23.89	5.62	22.56	0.405	0.0089	*total au 1 août*
12 août	1261	34.30	10.84	45.40	7.44	33.42	0.567	0.0227	
8 septembre	1003	20.26	4.71	32.50	4.61	23.77	0.812	0.0160	sans cônes
	750	21.68	9.15	7.88	6.60	22.58	0.307	0.0127	cônes
	1753	41.94	13.86	40.38	11.21	46.35	1.119	0.0287	*total au 8 septembre*
11 septembre	1674	41.35	12.22	56.75	9.20	47.54	1.423	0.0285	

Variétés et dates de récolte	Matière sèche	N	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Mn	Observations
Tettnang									
1 juillet	369	13.23	3.32	9.19	2 03	15.50	0.162	0.0114	
9 juillet	451 6	15.76	4.15	15.13	2.35	22.90	0.442	0.0108	
22 juillet	717.5	23.60	5.52	21.53	4.09	28.57	0.438	0.0087	
1 août	758.4	22.49	5.99	26.39	5.08	28.90	0.425	0.0129	
12 août	1312.4	35.57	11.29	42.52	6.96	40.82	0.630	0.0223	
11 septembre	1049	22.03	4.72	38.71	5.66	32.83	0.976	0.0178	sans cônes
	713	21.03	8.62	17.68	4.35	21.96	0.877	0.0171	cônes
	1762	43.06	13.34	56.39	10.01	54.79	1.853	0.0349	*total au 11 septembre*
Northern Brewer									
9 juillet	339.3	11.77	3.02	10.48	2.37	12.96	0.339	0.0105	
1 août	579	15.80	5.15	24.90	4.75	19.86	0.371	0.0139	sans cônes
	22.1	1.08	0.47	0.25	0.18	0.73	0.011	0.0011	cônes
	601.1	16.88	5.62	25.15	4.93	20.59	0.382	0.0150	*total au 1 août*
14 septembre	767.6	23.57	5.22	30.40	6.60	20.26	0.698	0.0315	sans cônes
	504	13.46	10.63	6.85	2.62	13.15	0.126	0.0186	cônes
	1271.6	37.03	15.85	37.25	9.22	33.41	0.824	0.0501	*total au 14 septembre*
Early Promise									
9 juillet	301.6	10.95	3 17	8.96	2.59	14.75	0.181	0.0078	
1 août	715.4	20.67	6.30	20.75	5 22	27.83	0.293	0.0179	sans cônes
	18.7	0.99	0.37	0.33	0.13	0.58	0.006	0.0008	cônes
	734.1	21.66	6.67	21.08	5.35	28.41	0 299	0.0187	*total au 1 août*
23 septembre	902.7	15.62	4.06	26.90	4.42	19.23	0.677	0.0217	sans cônes
	974	24.54	10.62	11.69	8.67	25.91	0.857	0.0262	cônes
	1876.7	40.16	14.68	38.59	13.09	45.14	1.534	0.0479	*total au 23 septembre*

Variétés et dates de récolte	Matière sèche	N	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Mn	Observations
Styrian Goldings									
9 juillet	300.7	10.52	2.83	8.48	2.89	15.46	0.201	0.0066	
1 août	616.4	18.80	4.71	21.51	4	23.98	0.252	0.0160	sans cônes
	38.4	2.07	0.81	0.46	0.33	1.39	0.012	0.0020	cônes
	654.8	20.87	5.56	21.97	4.33	25.37	0.264	0.0180	*total au 1 août*
17 septembre	954.3	23.19	4.58	39.51	7.27	27.86	0.697	0.0573	sans cônes
	642	17.59	7.83	8.54	3.79	20.03	0.295	0.0308	cônes
	1596.3	40.78	12.41	48.05	11.06	47.89	0.992	0.0881	*total au 17 septembre*
Saaz									
9 juillet	410.3	13.05	3.53	12.02	2.63	18.01	0.365	0.0103	
1 août	819	21.05	5.98	20.56	3.44	28.83	0.369	0.0188	sans cônes
	44.8	2.26	1.14	0.56	0.38	1.74	0.012	0.0020	cônes
	863.8	23.31	7.12	21.12	3.82	30.57	0.381	0.0208	*total au 1 août*
31 août	808.4	18.27	4.28	24.90	3.56	19	0.655	0.0170	sans cônes
	631	17.92	7.64	3.98	3.41	18.93	0.259	0.0164	cônes
	1439.4	36.19	11.92	28.88	6.97	37.93	0.914	0.0334	*total au 31 août*

Sur la base de 3000 plants à l'hectare, le houblon a enlevé les quantités suivantes par hectare et en kilos :

Variétés		N	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Mn
Groene Bel	1941	134	48	165		106.5		
	1942	119.7	50.6	169.4		172		
	1943	101.1	38.4	144.3		144.3		
	1945	111	48	84		34.5		
	1946	111.1	46.8	142.4		125.4		
	1949	116.9	34.8	176	20.8	139		
	1953	146.6	63.4	152.6	43.4	217.2	5.5	0.156
Moyenne		120	47.1	147.6	32.1	141.2	5.5	0.156
Hybride V/69	1946	121.8	34	163.2		170.3		
	1949	79.3	27.6	78.6	13.1	94.7		
	1950	134.5	41.9	182.7	30	135.6		
	1953	140.4	34.9	85.7	19.5	125.8	2.4	0.070
Moyenne		119	34.6	127.5	20.9	131.6	2.4	0.070
Hallertau	1941	87.5	34.5	117.5		89		
	1943	85.2	22	94.3		72.2		
	1945	71	21	118		77		
	1946	86.2	32.9	75		104.4		
	1949	89.2	32.4	95.7	16.2	109		
	1952	92.5	30.7	138.4	16.2	120.7		
	1953	124	36.7	170.2	27.6	142.6	4.3	0.085
Moyenne		90.8	30	115.6	20	102.1	4.3	0.085
Tettnang	1949	114.8	33.7	143.8	26.3	145.7		
	1950	156.1	68.5	182.8	37.1	269.3		
	1952	138.8	146.7	190.8	25.5	174.3		
	1953	129.2	40	169.2	30	164.4	5.6	0.105
Moyenne		134.7	72.2	171.6	29.7	188.4	5.6	0.105
Northern Brewer	1953	111.1	47.5	111.8	27.7	100.2	2.5	0.150
Early Promise	1953	120.5	44	115.3	39.3	135.4	4.6	0.144
Styrian Goldings	1953	122.3	37.2	144.2	33.1	143.7	3	0.264
Saaz	1953	108.6	35.8	86.6	21	113.8	2.7	0.100

OBSERVATIONS

Cette année nous apporte la confirmation des observations faites les années antérieures :

1. l'absorption des éléments nutritifs s'effectue surtout pendant les deux mois qui précèdent la cueillette du houblon ;
2. les exigences sont sous la dépendance de la variété et oscillent dans de larges limites allant du simple au double ;
3. pour chaque variété, la chaux est l'élément prélevé au maximum, suivi par la potasse et l'azote. Le Tettnang toutefois demande plus de potasse que de chaux ;
4. l'acide phosphorique et la magnésie suivent une absorption sensiblement identique ;
5. il serait intéressant, par des fumures appropriées, de suivre l'action de la soude et du manganèse sur la végétation, sur les rendements en cônes et la valeur de ceux-ci.

Comme l'accroissement des prélèvements par la plante coïncide avec la période de formation et de maturation des cônes, nous avons cette année, procédé à l'analyse séparée des cônes de façon à faire ressortir les exigences de ces derniers.

Le tableau ci-après, donnant le pourcentage de chaque élément enlevé par les cônes par rapport au total prélevé par la plante, nous montre que l'acide phosphorique, l'azote, la potasse et la magnésie, participent surtout à la floraison du houblon. La chaux, par contre, intervient pour un pourcentage plus faible ; il semblerait donc que cet élément, pourtant absorbé en grande quantité, se localiserait dans les organes végétatifs.

Il n'est pas possible sur les chiffres d'une année, de tirer des conclusions sur le comportement de la plante vis-à-vis de la soude et du manganèse. Constatons toutefois la grande divergence des résultats suivant les variétés analysées.

Pourcentage de chaque élément enlevé par les cônes, par rapport au total prélevé par la plante

Variétés	Matière sèche	N	P_2O_5	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Mn
Groene Bel	54.6	64.9	60.5	30.5	52.8	49.6	79	54.6
Hybride V/69	37.9	59.4	64.2	30.6	54.2	43	26.3	55.1
Hallertau	42.7	54	66	19.5	58.8	48.7	27.4	44.2
Tettnang	40.4	48.8	64.6	31.3	43.4	40	47.2	49
Northern Brewer	39.5	36.6	67	18.3	27.9	39.3	15.2	37.1
Early Promise	51.9	61	72.3	30.2	66.2	57.4	55.8	54.7
Styrian Goldings	40.2	43.1	63	17.7	34.2	41.8	29.7	34.1
Saaz	43.8	49.5	64.1	13.7	49	49.9	28.3	49.1

LABORATOIRE DE ZOOLOGIE

L'éclosion de l'œuf de Neodiprion sertifer *Geoffr.* (*)

par

R. BRENY

Dans une relation précédente, (1) nous suggérions une prognose des infestations de *Neodiprion sertifer* GEOFFR., basée sur l'observation des pousses de pin squelettisées et roussies par les larves de premier âge; le dénombrement des extrémités atteintes où se concentrent habituellement de 80 à 100 larves environ, permet d'obtenir une valeur exacte et certaine de l'importance numérique de la population larvaire estivale future.

Ultérieurement, (2) envisageant l'application pratique de cette conception, nous présentions quelques caractères phénologiques annonciateurs de l'approche des apparitions larvaires de la tenthrède et se rapportant aux pin, épicéa, mélèze, noisetier et peuplier.

Par la présente note, nous voudrions rapporter tout d'abord quelques détails d'aspect de l'œuf peu de temps avant la naissance de la jeune larve. Ces données complèteront nos constatations et considérations émises précédemment. Ensuite, nous décrirons les différentes phases de l'acte d'éclosion proprement dit, tel que nous avons pu l'observer dans la nature.

1. — L'ŒUF IMMEDIATEMENT AVANT L'ECLOSION

Parlant de l'œuf prêt à éclore de *Diprion pini L.*, ESCHERICH (4) rapporte les observations d'ELIESCU (3). Il dit en substance : Quelques jours avant l'éclosion, l'embryon est visible au travers du chorion ; les segments postérieurs abdominaux se recourbent immédiatement derrière les segments thoraciques et se placent en-dessous de ceux-ci ; les pattes

(*) Déposé à la rédaction le 29 juin 1955.

s'étendent entre les segments thoraciques et ventraux ; la tête occupe toute la largeur du premier segment. SCHÖNWIESE (6) dit d'autre part ce qui suit, cette fois au sujet de *Neodiprion sertifer* GEOFFR. : Au moment de la montée de la sève, au printemps, les œufs deviennent turgescents et sont alors visibles dans leur loge ouverte située sur le bord de l'aiguille. A la mi-avril, c'est-à-dire deux semaines et demie à trois semaines avant l'éclosion, on voit apparaître un noyau foncé bien distinct ; dix jours plus tard environ, on pourra déjà apercevoir les yeux et les mandibules. Au cours des tout derniers jours, avant l'éclosion, on pourra observer distinctement les mouvements mandibulaires. La tête de l'embryon est toujours située vers la base de l'aiguille, la face tournée vers l'axe de celle-ci. L'examen de plusieurs centaines d'œufs a révélé sans aucune exception cette même position de l'embryon.

De nombreux auteurs, tels SCHEIDTER (5), SCHÖNWIESE (6), ESCHERICH (4) ont parlé des œufs de *Neodiprion sertifer* GEOFF., mais ils ne se sont pas attardés semble-t-il à une étude détaillée de l'aspect de l'œuf en fin de la phase active de son développement final, c'est-à-dire avant l'éclosion.

L'œuf, on le sait, est enchassé dans le parenchyme foliaire ; avant son gonflement, — celui-ci étant la manifestation extérieure de la reprise du développement embryonnaire — il est emprisonné dans une loge aux bords extérieurs parfaitement scellés (2). Par imbibition progressive, le chorion se distend et l'œuf apparaît alors nettement en dehors de l'aiguille, faisant hernie en surface de la feuille. Au stade de leur gonflement maximum, les œufs sont bien visibles extérieurement et leur présence est d'autant mieux mise en évidence que les tissus végétaux constituant les parois de l'encoche qui les recèle, se déssèchent et se décolorent; les pontes apparaissent dès lors à ce stade, en des séries de plages semi-circulaires, nettement délimitées, d'un jaune-orange vitreux, soulignant par un pointillé les bords des aiguilles parasitées (*). Les œufs sont séparés par des espaces de 1 à 1 ½ mm de longueur, qui n'ont pas été fouillés par les scies de la tarière de la pondeuse mais qui, néanmoins prennent un aspect vitreux également ; il s'y accumule habituellement de la résine plus ou moins fortement solidifiée et même plus ou moins noircie ; ces espaces sont généralement verts encore mais d'une teinte plus claire que le reste de la feuille ; les tissus sains se distinguent en effet non seulement par une teinte verte bien particulière, propre à l'espèce végétale considérée mais encore par la présence de nombreuses lignes longitudinales claires constituées par les séries de stomates blanchâtres.

Au terme de son développement embryonnaire, la larve est repliée sur elle-même ; la tête touche l'extrémité de l'abdomen qui est tournée vers elle ; tête et extrémité abdominale sont donc visibles extérieurement

(*) La disposition des zones végétales blessées par les femelles a été utilisée par F. SCHEIDTER (5) pour différencier les pontes de plusieurs espèces de Diprionidae forestiers.

dans la zone distendue de l'œuf, c'est-à-dire dans la portion de celui-ci faisant hernie en dehors de l'alvéole. Comme le signale ELIESCU (3) pour *D. pini L.*, la tête se situe dans l'œuf du côté de la base de l'aiguille, la nuque tournée vers la pointe de celle-ci, la face vers le parenchyme foliaire. Au travers du chorion transparent, l'abdomen apparaît gris, strié finement et transversalement ; il présente une ligne étroite longitudinale médiane plus claire. La tête est blanche maculée de très petites aiguilles noires qui sont des soies sur leurs cônes d'implantation ; la capsule céphalique est également porteuse en profondeur, c'est-à-dire au-dessus et au-dessous du niveau des lèvres de l'alvéole — suivant les mouvements que l'embryon exécute — de deux points sombres, d'un noir carminé très foncé, nettement délimités : les taches oculaires. Les mandibules sont très visibles elles-aussi ; elles sont très foncées à leurs extrémités, de teinte lavée et de plus en plus claires au fur et à mesure qu'on se rapproche de leurs bases ; elles sont souvent animées de mouvements lents.

Les taches oculaires sont situées environ au 1/3 de la longueur totale de l'œuf, à compter à partir de l'extrémité dirigée vers la base de l'aiguille ; ce rapport n'est toutefois pas constant car comme nous allons le signaler, la jeune larve prête à éclore ne reste pas immobile dans l'œuf.

SCHÖNWIESE (6) précise que trois à quatre jours avant l'éclosion, on peut déjà observer distinctement les mouvements des mandibules. SCHEIDTER (5) dit aussi en parlant de *Lophyrus socius Kl.*, qu'en touchant l'œuf avec n'importe quel objet, et très peu de temps avant l'apparition de la larve, l'embryon bouge, lorsque le chorion est légèrement éclaté. Au sujet de *Diprion pini L.*, ESCHERICH (4) dit aussi que la larve exécute déjà des mouvements quelques jours avant l'éclosion.

Avant d'avoir atteint son complet développement, l'embryon exécute certes déjà des mouvements à l'intérieur de l'œuf ; il est aisé de le constater par l'usage d'une simple loupe à main ou plus commodément encore par l'emploi d'une loupe stéréoscopique ; lors des examens en laboratoire, la larve réagit notamment très vite à l'action des radiations calorifiques d'une lampe d'éclairage.

Les mouvements larvaires sont de plus en plus importants et rapides au fur et à mesure qu'on se rapproche du terme du développement embryonnaire ; l'époque à laquelle ils sont perceptibles dépend du milieu et tout spécialement de la température qui règle la vitesse de croissance de l'embryon ; c'est ainsi que dans la nature, il nous fut permis de constater des mouvements mandibulaires ainsi que des déplacements latéraux de la tête plus de 10 jours avant l'éclosion ; en chambre à température constante de 25°-28° C par exemple, il semble que les mouvements sont décelables 2 à 3 jours seulement avant la naissance de la larve.

ESCHERICH (4) admet comme conséquence de ces mouvements le percement de la coque.

Les mouvements déployés par l'embryon ayant atteint un développement complet peuvent être de forte amplitude ; en effet, un œil peut apparaître presqu'au sommet de la portion extérieurement visible de la coque ; dans ce cas, la tête tourne d'un angle voisin de 90° ; d'autre part, la portion abdominale visible comme nous l'avons dit en une zone striée gris-noirâtre, occupant au repos les 2/3 environ de la surface visible de l'œuf peut n'apparaître que sous l'aspect d'une petite tache, à peine observable, située à l'extrémité de l'œuf, c'est-à-dire du côté du sommet de l'aiguille; cette observation prouve que si la larve exécute, du moins au niveau de la tête, des mouvements latéraux, l'animal tout entier peut aussi se mouvoir suivant son axe longitudinal. Cette position extrême de l'abdomen n'est jamais de très longue durée ; l'embryon reprend progressivement et plus ou moins rapidement suivant la température et le degré de perfectionnement de son développement, la position normale décrite plus haut. La tête elle, peut cependant rester quelquefois plusieurs heures inclinée à droite ou à gauche du plan médian longitudinal de l'œuf avant de reprendre sa position habituelle de repos.

2. — LE MECANISME D'ECLOSION

Parlant du stade œuf, ESCHERICH (4) rapporte les observations d'ELIESCU (3) sur *Diprion pini L.*

« Schon einige Tage vor dem Schlüpfen macht der Embryo Bewegungen im Ei. Dadurch entsteht in der Mitte der oberen Eischale, und zwar gegen das Kopfende zu ein länglicher Spalt. In dem Moment, in dem das Chorion platzt, schnellt der Thorax der Larve hervor. Der Spalt wird unter dem Einfluss der immer stärker verdenden Bewegungen immer länger und breiter, bis er endlich so gross ist, dass auch der Kopf der Larve heraustreten kann. Ist der Kopf und Thorax befreit, so fängt die Larve nach einer Ruhepause von etwa 20 Minuten an zu kriechen und zieht nun den Rest des Körpers aus der Eischale. Der ganze Vorgang des Schlüpfens dauert etwas mehr als 1 Stunde ».

Nous rapportons ci-dessous nos observations sur *Neodiprion sertifer* GEOFFR. Elles avaient pour but de découvrir le mécanisme exact du phénomène d'éclosion de l'œuf.

Rappelons qu'en position normale, la larve nous apparaît sur la portion externe transparente du chorion, le crâne appuyé contre l'extrémité abdominale, celle-ci envahissant les 2/3 environ de la surface entièrement visible de l'œuf.

La larve en mal d'éclosion exécute principalement des mouvements de deux types. Elle peut tout d'abord se mouvoir suivant son axe longitudinal ; dans ce cas, la tête refoule presqu'entièrement l'abdomen sur le fond de l'alvéole ; une oscillation en sens inverse rétablit l'insecte dans sa position normale ; par ces manœuvres on peut déduire, et on le constate évidemment, que la tête passe par une position intermédiaire

qui la situe à mi-distance entre les deux pôles de l'œuf ; elle est alors flanquée d'une part par les derniers segments abdominaux et d'autre part par les segments thoraciques ; ces deux régions du corps encadrent dès lors, la capsule céphalique, qui à ce moment est délimitée antérieurement et postérieurement par des plages plus foncées. Signalons dès à présent, que cette position intermédiaire est celle adoptée par la larve au moment de la déhiscence de l'œuf. Lorsque l'insecte exécute les mouvements d'arrière en avant, c'est-à-dire dans le sens extrémité de l'aiguille — base de l'aiguille, elle incline fortement la tête en profondeur et ne laisse voir à l'observateur que la région occipitale facilement reconnaissable par la rareté des soies qui la garnissent. Ainsi donc, la larve peut développer des « balancements » d'avant en arrière et d'arrière en avant. Mais elle peut aussi exécuter des mouvements de torsion ayant pour siège la région thoracique et vraisemblablement aussi la base de l'abdomen. Par ce deuxième type de mouvement, la jeune larve tend à faire subir à la région céphalique une torsion latérale de 180° ; les mouvements permettent en effet à la région mandibulaire d'atteindre le milieu de la portion externe de l'œuf.

Comme nous l'avons déjà signalé, si la larve, quelques jours avant l'éclosion peut exécuter des mouvements oscillatoires latéraux de la tête, ce ne sera qu'en période toute proche de l'éclosion proprement dite qu'elle le fera avec le maximum d'amplitude. Immédiatement avant la rupture de la coque, l'insecte combine les deux types de mouvements dont il vient d'être question. La déhiscence de l'œuf se produit en effet par une coupure médiane longitudinale du chorion ; ce sont les mandibules qui participent essentiellement à ce travail.

Pour éclore, la larve tourne tout d'abord la tête vers un point médian central de la zone visible du chorion, elle juxtapose ensuite ses deux pièces mandibulaires dentelées à leur extrémité ; elle exerce à l'aide de celles-ci une pression qui se développe exactement au milieu de la paroi interne de la coque, suivant l'axe de l'aiguille ; si alors, on regarde l'œuf latéralement, on constate extérieurement l'existence momentanée de légères aspérités en surface du chorion ; la larve incline ensuite la tête vers l'avant, tendant dès lors à sectionner à l'aide de sa scie mandibulaire, la paroi de l'œuf qui l'emprisonne ; puis la tête s'incline vers l'arrière mais dans ce mouvement, les mandibules sont écartées et ne déforment pas l'œuf ; en fin de cette deuxième manœuvre, les pièces buccales sont à nouveau juxtaposées et la scie minuscule est reconstituée ; un nouveau balancement antérieur réalise une nouvelle tentative d'incision. Extérieurement, les déformations de la coque apparaissent de plus en plus aiguë. On peut également constater pendant le travail de sciage le jeu des dernières fausses pattes abdominales ; elles participent au grand effort musculaire général de l'animal ; elles glissent sur la surface d'appui que leur offre la face interne de la coque. Finalement, le chorion cède sous la pression et les mouvements mandibulaires répétés. La tête de la larve surgit alors brusquement au dehors, mandibules ouvertes, palpes dégagés et divergeantes ; l'insecte reste une seconde

environ dans cette position puis essaye de se rebattre vers l'extrémité apicale de l'aiguille ; le thorax semble se dégager de lui-même. A ce moment, la déhiscence de l'œuf est totale et suffisante ; l'insecte va se libérer entièrement par des efforts musculaires abdominaux d'abord, sous l'action combinée de ceux-ci et des pattes ensuite.

Voici maintenant quelques détails observés lors d'éclosions, au moment où les larves allaient abandonner leur coque. Sous l'action des muscles abdominaux, l'animal, dont la tête, le thorax et les premiers segments de l'abdomen sont libres, s'incurve fortement ; il atteint une position telle que la face de la tête touche le végétal ; la partie antérieure du corps décrit donc un arc de cercle dont la concavité est dirigée vers l'aiguille et la tête vers le sommet de celle-ci ; notons que l'insecte n'atteint pas cette position en un seul mouvement continu, une dizaine d'efforts sont souvent nécessaires. Dans un tel état, les pattes antérieures se libèrent alors que les médianes et les postérieures restent collées au corps ; bientôt l'insecte se fixe au moyen de ses deux membres libérés ; c'est seulement alors que la deuxième paire de pattes se dégage ; celles-ci se fixent à leur tour ; la troisième paire enfin devient libre et ainsi tous les membres ont saisi l'aiguille.

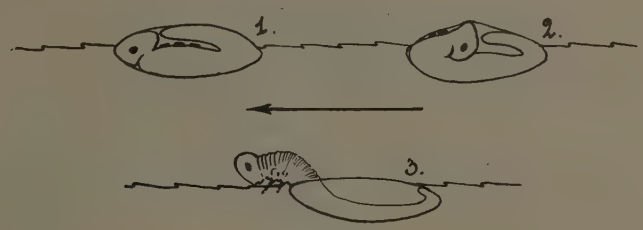


FIGURE A

Représentation schématique des phases d'éclosion :
1. Larve au repos ; 2. Percement du chorion ; 3. Auto-extraction de la larve.
(la flèche indique le sommet de l'aiguille).

Ce sont les pattes thoraciques qui jouent le rôle essentiel dans l'acte d'auto-extraction de l'animal ; un observateur même non averti peut facilement se rendre compte de la fixation énergique des pattes sur l'aiguille ainsi que de leur utilisation en réel appui permettant les tensions musculaires corporels. Certaines torsions et mouvements abdominaux accompagnent toujours les efforts de traction. L'insecte en une première série de mouvements s'est donc légèrement libéré de la coque; il va poursuivre son travail en faisant quelques pas pour prendre un nouvel appui, plus éloigné de l'œuf que le premier ; la même chose scène se déroule ensuite et ainsi l'insecte apparaît plus complètement. Au fur et à mesure de son dégagement, la larve s'assure une meilleure fixation encore en utilisant ses fausses pattes.

Si on se rappelle la position initiale de l'embryon dans l'œuf avant la déhiscence, on conçoit à la suite de ce qui vient d'être dit qu'en ce travail de dégagement, le corps de l'insecte s'étire et se dégage de la coque en un mouvement hélicoïdal.

La larve nouvellement née est allongée sur la feuille en une position rectiligne cramponnée sur l'arrête de l'aiguille. Elle se déplacera bientôt et lentement, voyageant d'abord vers l'extrémité de la feuille puis progressivement, en une direction quelconque. Le jeune individu de couleur claire va ainsi prendre teinte définitive ; il deviendra plus foncé ; sa tête notamment sera d'un noir pur, parfaitement brillant. L'alimentation n'aura lieu qu'après induration complète des téguments.

Si telles sont les phases habituelles de l'éclosion, on peut cependant parfois constater de légères variations dans le processus d'auto-extraction de la larve ; signalons notamment que l'insecte après avoir percé le chorion, peut ne pas s'être dégagé suffisamment pour s'assurer la fixation préalable à sa libération totale ; dans ce cas, la larve exécute des moucements oscillatoires en tous sens pour lui permettre de s'allonger et d'assurer enfin son retournement complet et dès lors sa fixation.

L'agitation intense de l'insecte, préalablement à la déhiscence de l'œuf, dure plusieurs heures tandis que l'opération de dégagement proprement dit se déroule en quelques minutes seulement,

Ainsi donc, le jeune *Neodiprion sertifer* GEOFFR. utilise d'instinct mais certes avec beaucoup d'ingéniosité ses mandibules pour scier la coque de l'œuf qui l'emprisonne. La plasticité du chorion permet les déformations de celui-ci sous les multiples efforts musculaires de l'embryon ; la larve dans l'œuf, peut aussi exécuter non seulement les mouvements indispensables au percement de la coque mais aussi ceux nécessaires aux actes ultérieurs de dégagement total et complet du corps. Si l'opération préalable au percement de la coque est d'une certaine durée, nous venons de dire que celle du dégagement de l'animal est rapide. Cette dernière phase de l'éclosion doit être réalisée en un temps aussi court que possible car le chorion pourrait se dessécher et perdre son élasticité et sa souplesse. C'est ainsi qu'expérimentalement, il est possible d'empêcher la larve de se dégager par l'action déshydratante de rayons calorifiques suffisamment puissants; l'insecte reste alors coincé au niveau de la base de l'abdomen, entre les lèvres de l'orifice de sortie qui ne se déforme plus ; il meurt dans cette position sans avoir pu se dégager.

Par cette observation, on constate une fois de plus que l'œuf de *Neodiprion sertifer* GEOFFR. est intimement sous la dépendance de l'activité du végétal qui le supporte ; celui-ci maintient par son activité circulatoire sèveuse une imbibition suffisante du chorion, nécessaire à la souplesse de la coque et par là, à la réussite des phénomènes d'éclosion.

Si, expérimentalement, il nous fut possible d'arrêter mortellement la larve dans son travail de dégagement, il peut exister dans la nature

certaines circonstances particulières provoquant de façon plus ou moins semblable, un certain taux de mortalité à l'éclosion. Nous avons en effet observé en parcelles expérimentales que des pontes déposées sur les feuilles de branches latérales et surtout inférieures de jeunes pins peu vigoureux et de un à deux ans de repiquage, ne donnaient naissance qu'à un nombre réellement faible de larves ; les aiguilles très légèrement amincies par une alimentation en sève insuffisante, ou encore celles porteuses d'un nombre trop élevé d'œufs (*) n'ont pas permis aux jeunes larves de se dégager entièrement de l'œuf et même, dans des cas extrêmes, n'ont pas été le siège des toutes premières manifestations d'éclosion; il était cependant très aisé de constater par transparence du chorion, la présence de larves actives. Notons également que des vents desséchants, surtout s'ils coïncident avec un état hygrométrique atmosphérique faible, peuvent dans la nature empêcher dans une certaine proportion les apparitions larvaires, spécialement en des endroits où de jeunes pins ont préalablement souffert de la sécheresse.

BIBLIOGRAPHIE

(1) BRENY, R. et DETROUX, L. : Considérations sur la biologie et la nuisance de *Neodiprion sertifer* GEOFFR. et rapport sur les traitements effectués en 1949 dans les pineraies de la région de Spa.
« Parasitica », 1950, T. VI, n° 4.

(2) BRENY, R. : *Neodiprion sertifer* GEOFFR. L'œuf et le végétal.
Bull. Inst. agron. et St. Recher. de Gembloux. 1954, T. XXII, n°s 3-4.

(3) ELIESCU, G. : Beiträge zur Kenntnis der Morphologie, Anatomie und Biologie von *Lophyrus pini L.*
Z. f. ang. Ent., 1922, 67 u., 188-206, 1932.

(4) ESCHERICH, K. : Die Forstinsekten Mitteleuropas, Band V, Hymenoptera und diptera, 1942, Berlin.

(5) SCHEIDTER, F. : Uber die Art Eiablage der gesellig lebenden Buschhornblattwespen.
Z. fur Pflanzenk. u. Pflanzensch. XXXVI, 7-8, 1926.

(6) SCHÖNWIESE, L. : Beobachtungen und Versuche anläslich einer Ubervermehrung von *Lophyrus sertifer* GEOFFR. *(rufus PZ.)* in Sudkärnten in den Jahren 1931-32.
Z. f. ang. Entom. 21, 463-500, 1935.

(*) On constate parfois, dans le cas de surpopulation de pondeuses, des œufs tellement abondants qu'ils sont répartis sur chacune des arêtes d'une même aiguille.

SAMENVATTING

HET ONTLUIKEN DER EI VAN NEODIPRION SERTIFER *GEOFFR.*

van R. Breny

De auteur beschrijft het uitzicht van het ei, dat op het punt staat te ontluiken en het uitkomen van de larve.

D. B.

SUMMARY

THE HATCHING OF THE EGG OF NEODIPRION SERTIFER *GEOFFR.*

by R. Breny

The author describes the aspect of the egg just before hatching and the process of emergence of the larva.

G. C.

ZUSAMMENFASSUNG

DAS SCHLUPFEN DER EIER VON NEODIPRION SERTIFER *GEOFFR.*

von R. Breny

Der Autor beschreibt das Aussehen des Eies, das gerade vor dem Ausschlüpfen, wie auch den Mechanismus des Erscheinens der Larve.

J.-M. H.

Les produits de la dégradation du l-tryptophane sous l'action des rayons ultra-violets (*)

par

A. R. DESCHREIDER et M. RENARD

Nous avons relaté, dans un travail précédent (**), les profondes modifications subies par le spectre d'absorption ultra-violet du l-tryptophane après irradiation.

Dans la présente étude, nous nous sommes efforcés d'établir la nature des produits issus de la dégradation et auxquels les changements observés sont imputables.

I. — EXAMEN CHROMATOGRAPHIQUE DES SOLUTIONS IRRADIEES

La chromatographie sur papier à deux dimensions a permis de suivre l'évolution de la dénaturation en fonction du temps. Les solvants utilisés furent respectivement :

— Le phénol saturé d'eau ;

— Le butanol N-acétique (4 parts de butanol N, 1 part d'acide acétique et 5 parts d'eau. On utilise la fraction légère se séparant après repos).

Les solutions irradiées avaient une concentration 10^{-2} M en tryptophane et la distance de la source irradiante à la surface du liquide était de 2 cm.

L'examen en lumière de Wood des chromatogrammes révèle, après irradiation de l'acide aminé, l'existence de deux taches fluorescentes : l'une jaune-vert et l'autre bleu-ciel. Ces taches ont leur maximum d'intensité après 2 h d'irradiation.

(*) Déposé à la rédaction le 20 juin 1955.

(**) Bull. Inst. agron. et Stat. Rech. Gembloux, tome XXIII, n° 2, p. 151.

La première disparaît après 11 h de traitement et la seconde après 8 heures.

Le traitement à la ninhydrine des chromatogrammes, donne deux taches pourpres après 5 heures de traitement (C, E) et trois taches (C, D, E) à partir de 8 heures ; des deux taches fluorescentes seule la tache bleu-ciel réagit avec la ninhydrine en se colorant en jaune-brun.

Il existe une corrélation entre les modifications spectrales que nous avons enregistrées antérieurement et les taches qui prennent naissance. C'est ainsi, que tant que la tache de fluorescence bleu-ciel persiste on observe un spectre d'absorption ultra-violet caractéristique. La persistance de la tache fluorescente jaune-vert confère à la solution irradiée une absorption décroissante de 240 mμ à 400 mμ. Lorsque les taches fluorescentes ont disparu il n'y a pratiquement plus d'absorption dans l'ultra-violet.

Les Rf obtenus pour les divers produits de dégradation figurent au tableau I ci-dessous.

TABLEAU I

Rf des produits de dégradation du l-tryptophane irradié

Caractéristiques des taches	Rf dans le butanol N-acétique	Rf dans le phénol-saturé d'eau
Tryptophane (témoin) pas de fluorescence	0,47	0,79
Tache A - fluorescence jaune-vert - réaction négative avec la ninhydrine	0,25	0,70
Tache B - fluorescence bleu-ciel, jaune brun avec la ninhydrine	0,35	0,85
Tache C - pas de fluorescence, pourpre avec la ninhydrine	0,19	0,22
Tache D - pas de fluorescence, pourpre avec la ninhydrine	0,20	0,41
Tache E - pas de fluorescence, pourpre avec la ninhydrine	0,29	0,67

Source : Ministère des Affaires Economiques, Laboratoire Central

Remarques : A et B atteignent leur maximum d'intensité après 2 h d'irradiation.

C et E apparaissent à partir de 5 h de traitement.

D apparaît à partir de 8 h de traitement.

II. — IDENTIFICATION DES PRODUITS FLUORESCENTS.

a) Le corps à fluorescence bleu-ciel.

1. — *Chromatogrammes alcool - acide sulfurique*

Au cours d'un travail sur les hydrolysats alcalins du tryptophane, J. Tabone et al (1) ont trouvé que sous l'action de la chaleur et en milieu alcalin, le tryptophane donne naissance à un produit qui s'apparenterait à la cynurénine. En effet, les chromatogrammes sur papier de tryptophane chauffé en milieu alcalin, montrent une tache orangée après traitement au réactif d'Ehrlich. La tache disparaît si on l'expose aux vapeurs d'acide chlorhydrique. Cette réaction est identique à celle donnée par la cynurénine et de plus la tache possède un Rf identique. Le solvant utilisé par ces auteurs est un mélange d'alcool et d'acide sulfurique dans les proportions : alcool à 96° 60 volumes, eau 39 volumes et H^2SO^4 concentré 1 volume.

Nous avons appliqué, aux solutions irradiées de l-tryptophane, la même technique opératoire que ces auteurs et constaté que la tache de fluorescence bleu-ciel est due à un corps de la même nature que celui trouvé par eux.

En effet, la fluorescence bleu-ciel épouse exactement la tache orange que l'on obtient avec le réactif d'Ehrlich, elle disparaît également lorsqu'on l'expose aux vapeurs d'acide chlorhydrique.

Le tableau II fait ressortir l'analogie étroite existant entre le corps trouvé par J. Tabone et al et le produit fluorescent bleu-ciel obtenu après irradiation.

TABLEAU II

Rf de la tache B dans l'alcool-acide sulfurique

Désignation	d'après nos essais	d'après J. Tabone et al.
Tryptophane (témoin)	0,54	0,55 - 0,58
Tache orange		0,44 - 0,46
Tache B - fluorescence bleu-ciel ...	0,43	
Rapport Rf Try./Rf tache orange ...	1,25	1,25 - 1,25

Source : Ministère des Affaires Economiques, Laboratoire Central

Cette corrélation parfaite nous permet d'assimiler le corps de fluorescence bleu-ciel à celui trouvé par les auteurs précités lors de l'hydrolyse alcaline du tryptophane. Ce serait donc un dérivé de la cynurénine.

Cette hypothèse fut d'ailleurs confirmée par la confrontation de nos résultats chromatographiques avec ceux mentionnés par Piero Sensi (2), et figurant au tableau III.

TABLEAU III

Comparaison entre les Rf de différents produits

Substances	Butanol saturé d'eau		Butanol + acide acétique		Phénol saturé d'eau	
	Sensi	nos essais	Sensi	nos essais	Sensi	nos essais
Tryptophane . . .	0.2	0.21	0.46	0.47	0.73	0.80
Tache A fluorescence jaune-vert . .		0.11		0.25		0.73
Tache B fluorescence bleu-ciel . .		*0.18*		*0.35*		*0.86*
Cynurénine	*0.15*		*0.37*		*0.75*	
Oxycynurénine . .	0.10		0.26		0.53	
Acide cynurénique .	0.10		0.49		0.62	

Source : Ministère des Affaires Economiques, Laboratoire Central

Remarques : Chromatographie par voie ascendante.
Papier Wathman n° 1.
Température 20°C ± 1°.

2. — *La Polarographie*

Piero Sensi (loc. cit.) signale que certains métabolites de l'acide nicotinique et du tryptophane sont caractérisés par une onde polarographique.

Partant de cette constatation nous avons effectué la polarographie des solutions de tryptophane irradié.

La figure 1 montre que le tryptophane pur, en milieu tamponné, ne forme pas d'onde polarographique alors qu'après irradiation par les rayons ultra-violets la solution donne une onde dont E 1/2 est situé à —1,38 V à pH 8,5 —1,40 V à pH 7,0 et —1,37 V à pH 4,7.

Après avoir effectué la chromatographie de partage sur papier de la solution irradiée nous avons isolé la tache de fluorescence bleu-ciel. Après l'avoir démontée dans le tampon 8,5 de Sörensen nous avons obtenu un polarogramme identique à celui de la solution irradiée, le potentiel E 1/2 étant situé à —1,42 V. La tache de fluorescence jaune-vert traitée de la même façon ne donne pas lieu à une onde.

Or SENSI (loc. cit.) donne les valeurs E 1/2 suivantes :

	pH 4,7	pH 7,0	pH 8,5
Cynurénine . . .	— 1,35	— 1,53	— 1,60
Oxycynurénine . . .	— 1,27	— 1,48	— 1,58
Acide cynurénique . .	— 1,5	— 1,59	— 1,70

Les résultats polarographiques que nous obtenons pour le dérivé fluorescent bleu-ciel confirment l'hypothèse que nous nous trouvons en présence d'un dérivé de la cynurénine.

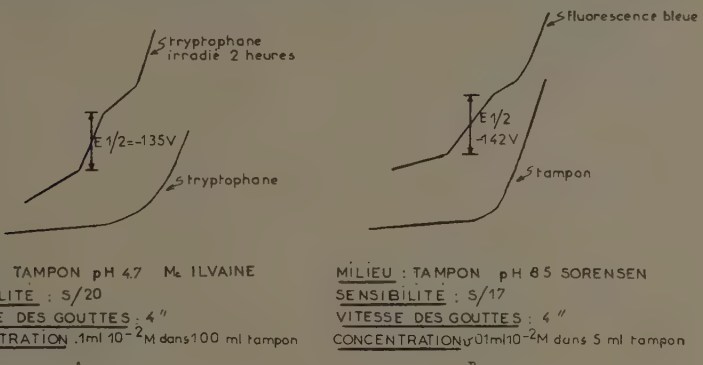

S tryptophane irradié 2 heures
E 1/2 = -1.35 V
S tryptophane
MILIEU TAMPON pH 4.7 Mc ILVAINE
SENSIBILITE : S/20
VITESSE DES GOUTTES : 4 "
CONCENTRATION .1ml 10⁻² M dans 100 ml tampon
A
S fluorescence bleue
E 1/2
-1.42 V
S tampon
MILIEU : TAMPON pH 8.5 SORENSEN
SENSIBILITE : S/17
VITESSE DES GOUTTES : 4 "
CONCENTRATION .01ml 10⁻² M dans 5 ml tampon
B

FIGURE 1

A — Polarographie d'une solution de l-tryptophane irradiée.
B — Polarographie de la tache B de fluorescence bleu-ciel.

Source : Ministère des Affaires Economiques - Laboratoire Central

3. — *L'absorption dans l'ultra-violet*

Une solution irradiée de l-tryptophane se caractérise par l'apparition d'un maximum d'absorption à 260 mμ et d'un palier s'étendant de 286 à 320 mμ.

Nous avons voulu établir la corrélation existant entre ces modifications spectrales et la formation de taches fluorescentes sur les chromatogrammes.

Une quantité de 0,2 ml d'une solution 10^{-2} M de tryptophane irradiée pendant 2 heures, a été répartie en plusieurs taches sur un papier pour chromatographie.

Après développement dans une direction à l'aide de butanol N-acétique, le chromatogramme est d'abord séché à l'air, puis 10 minutes à l'étuve à 60°C. Les taches fluorescentes bleu-ciel et jaune-vert ont été

repérées en lumière de Wood, entourées d'un trait de crayon, puis découpées. Elles ont ensuite été démontées dans 10 ml d'eau bidistillée. Nous avons ainsi obtenu deux solutions aqueuses correspondant aux deux fluorescences. Les spectres d'absorption dans l'ultra-violet, relevés au spectrophotomètre Beckman, sont représentés sur la figure 2.

Ces deux spectres montrent que les changements observés antérieurement pour les solutions irradiées de tryptophane sont dûs à la formation de ces deux dérivés fluorescents. En effet, si nous faisons la somme des spectres de la figure 2 nous obtenons une courbe identique à celle que l'on obtient dans l'ultra-violet pour la solution de tryptophane irradiée pendant 2 h.

Toutefois, le corps de fluorescence jaune-vert ne possède pas de spectre caractéristique.

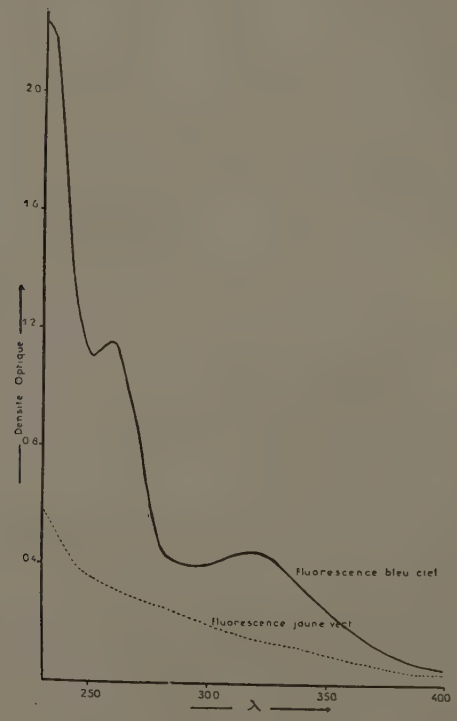


FIGURE 2

Spectres d'absorption des produits fluorescents jaune-vert et bleu-ciel provenant de la dégradation du l-tryptophane sous l'action des rayons U.V.

Source : Ministère des Affaires Economiques - Laboratoire Central

C'est le produit fluorescent bleu-ciel qui possède un spectre où l'on relève deux maxima d'absorption situés respectivement à 260 mμ et à 320 mμ.

Un tel spectre est assez semblable à celui signalé par KOTAKE (3) pour la cynurénine dans l'eau, et notamment en ce qui concerne le « peak » de 260 mμ. Il ne s'agit toutefois pas de cynurénine car celle-ci possède un second maximum à 360 mμ.

De plus P. SENSI (loc. cit.) mentionne les maxima suivants :

cynurénine	. . .	255 mμ	et	363 mμ
oxycynurénine	. . .	271 mμ	et	372 mμ
acide cynurénique	. .	333 mμ	et	347 mμ.

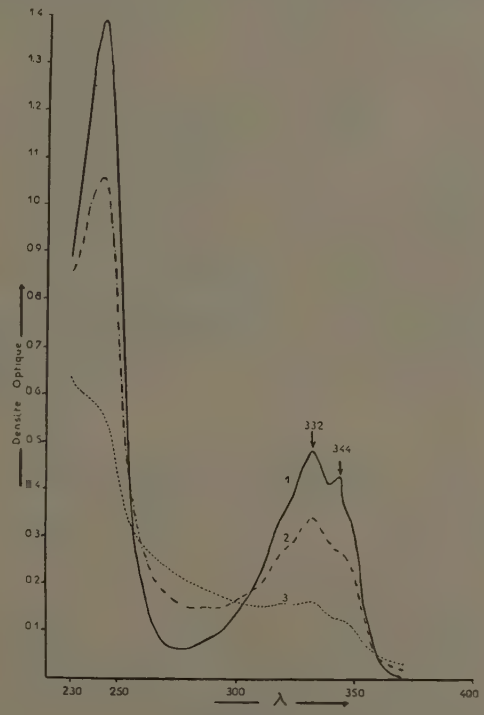


FIGURE 3

Irradiation de l'acide cynurénique

1 = acide cynurénique non irradié — concentration 0,95 mg/100 ml NaOH 0,01 N
2 = acide cynurénique irradié 2 h — milieu NaOH 0,01 N
3 = acide cynurénique irradié 5 h — milieu NaOH 0,01 N

Source : Ministère des Affaires Economiques - Laboratoire Central

Aucun de ces maxima ne correspond à ceux que nous obtenons pour le produit de dégradation du tryptophane que nous avons isolé.

Nous avons voulu néanmoins vérifier si, en partant d'acide cynurénique nous n'obtenions pas le spectre typique sous l'influence des rayons U.V.

Le spectre d'absorption de l'acide cynurénique dans la soude N/100 est représenté sur la figure 3, il se caractérise par les maxima 332 mμ et 344 mμ (Sensi 333 mμ et 347 mμ). Un traitement aux ultra-violets, prolongé jusqu'à 5 heures, ne donne pas lieu à l'apparition du spectre typique que nous obtenons dans le cas du l-tryptophane. Les maxima vont en s'affaiblissant pour finir par disparaître. Il semble donc que l'acide cynurénique ne soit pas un stade de la dégradation du tryptophane.

Cependant les fortes présomptions que nous avions en faveur de la formation d'un dérivé de la cynurénine trouvèrent leur confirmation grâce aux travaux de Knox et Mehler (4), (5). En effet, ces auteurs ont démontré que la cynurénine se forme, en partant du tryptophane, dans les tissus du foie et dans des conditions aérobiques. Une oxydation physiologique par une oxydase et une peroxydase, formant des peroxydes, est nécessaire pour cette transformation ; mais si on élimine la formylase du système on constate une accumulation de formylcynurénine.

Or le spectre d'absorption du produit de fluorescence bleu-ciel s'identifie parfaitement avec celui donné par les auteurs précités pour la formylcynurénine en solution 10^{-4} M.

En conséquence, les essais qui précèdent nous permettent de conclure que la formylcynurénine est un des produits de dégradation du l-tryptophane sous l'action des rayons ultra-violets de longueur d'onde 2537 A.

b) Le corps de fluorescence jaune-vert.

Tous nos essais en vue de trouver la nature de ce composé se sont avérés infructueux.

La tache fluorescente obtenue sur chromatogramme donne une coloration rose avec le réactif d'Ehrlich.

L'absence de spectre d'absorption présentant un maximum implique le fait que ce composé n'a plus une structure cyclique.

La séparation chromatographique sur alumine activée permet de séparer une fraction qui est caractérisée par une odeur très prononcée rappelant le géraniol. Une goutte de cette fraction déposée sur un papier filtre, puis exposée à la lumière Wood après séchage révèle la fluorescence jaune-vert caractéristique.

L'évaporation sous vide de cette fraction donne un résidu odoriférant fortement hygroscopique et qui présente, sous le microscope, une forme cristalline arborescente.

III. — IDENTIFICATION DES ACIDES AMINES ISSUS DE LA DEGRADATION DU l-TRYPTOPHANE.

Nous avons signalé au début de cette étude, qu'une irradiation durant 8 heures d'une solution 10^{-2} M de tryptophane a comme résultat la disparition de la tache fluorescente bleu-ciel et l'affaiblissement de la fluorescence jaune-vert.

Par contre à ce moment le traitement des chromatogrammes par la ninhydrine fait apparaître 3 taches pourpres très nettes.

Le chromatogramme central à deux dimensions de la figure 4 est celui que l'on obtient pour une solution de tryptophane irradiée pendant 8 heures.

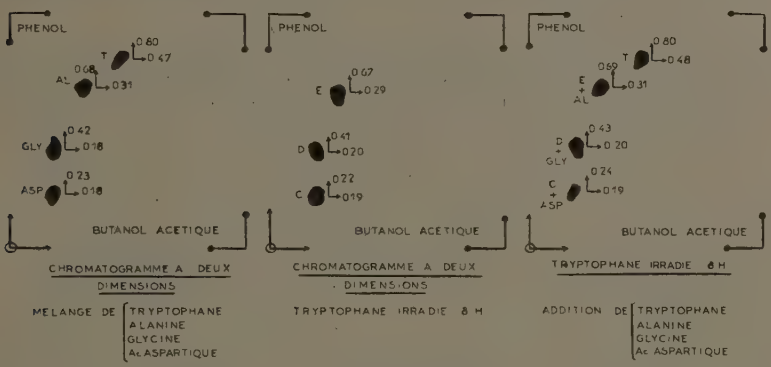


FIGURE 4

Chromatogrammes du l-tryptophane irradié aux rayons ultra-violets de longueur d'onde 2537 A.

Source : Ministère des Affaires Economiques - Laboratoire Central

Nous avons établi la nature de ces trois acides aminés en réalisant :

1°) Des chromatogrammes d'acides aminés purs connus (graphique gauche de la figure 4) ;

2°) Des chromatogrammes de solutions irradiées de tryptophane avec ajoute de ces mêmes acides aminés connus (graphique droit de la figure 4).

Etant donné que ces essais ont été réalisés au même moment et dans des conditions opératoires identiques nous pouvons conclure que les acides aminés qui se sont formés sous l'action des rayons ultra-violets sont l'acide aspartique, la glycine et l'alanine.

Il est à noter que dans les premiers temps de l'irradiation se sont l'acide aspartique et l'alanine qui apparaissent, puis lorsqu'elle se prolonge la glycine se forme.

IV. — DISCUSSION.

De tous les essais qui ont été effectués sur des solutions de l-tryptophane irradiées aux rayons ultra-violets nous pouvons retenir :

1°) Que c'est la radiation de longueur d'onde 2537 A qui est la plus active ;

2°) Que la vitesse de dégradation de la molécule est d'autant plus rapide que la source lumineuse se rapproche de la surface irradiée ;

3°) Que le genre de dénaturation dépend de la concentration des solutions traitées ;

4°) Que cette dégradation se caractérise par la formation de formylcynurénine, d'une substance odoriférante non identifiée, d'acide aspartique, de glycine et d'alanine. Pendant les premières heures une substance brune floculе, puis disparaît.

La rupture des protéines ou des peptides trouve son explication, selon S. Fiala (6), dans deux phénomènes :

a) La dénaturation des corps protidiques par l'action des rayons U.V., qui ne prend place que pour les courtes longueurs d'ondes, et qui est indépendante de l'oxygène ;

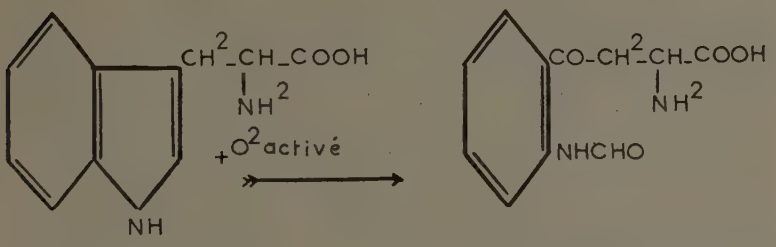
b) La photooxydation par les U.V., processus parallèle à la dénaturation, provoqué par les radiations courtes et longues. Une prolongation de la photooxydation peut amener une scission partielle par oxydation de la molécule protéique. Au cours de la photooxydation l'oxygène excité par les U.V. est en grande partie lié à la protéine.

Dans le cas qui nous occupe l'oxygène activé par les rayons ultra-violets ne peut provenir que de l'oxygène dissous dans la solution. En effet, à la longueur d'onde de 2537 A nous n'avons pas trouvé de bioxyde d'hydrogène résultant de l'action photochimique du rayonnement sur le solvant, fait qui a déjà été constaté par R. Guillemet (7).

La formation de formylcynurénine au départ de l-tryptophane peut donc s'expliquer par la réaction de photooxydation.

La dénaturation se poursuit ensuite par scission de la molécule sous l'action d'un certain nombre de quanta de lumière ultra-violette active.

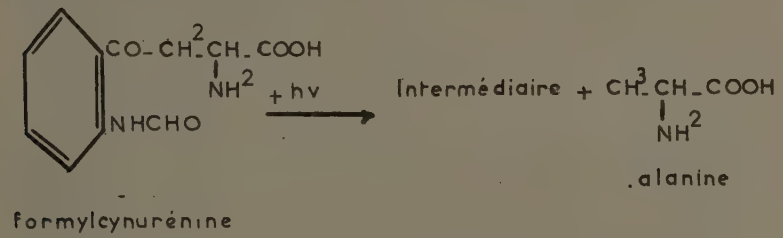
Au cours de l'étude de la dénaturation de la globuline par les rayons ultra-violets F. Haurowitz et A. Tümer (8) supposent que l'absorption d'un photon, induit l'ionisation du groupe atomique absorbant.



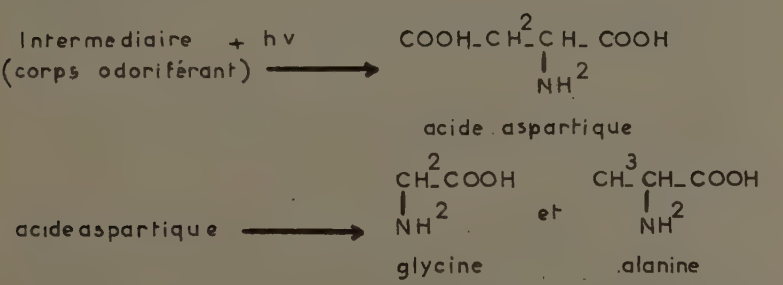
Tryptophane — Formylcynurénine

Cette ionisation peut conduire à une scission de la chaîne du peptide. Ridael et Mithell (9) postulent qu'au cours de l'absorption d'un quantum actif, la scission apparaît aux points les plus faibles.

La même dénaturation peut conduire à la scission des noyaux eux-mêmes, avec comme corollaire la décroissance d'absorption en lumière ultra-violette des acides aminés contenant un noyau aromatique. Les étapes suivantes de la dénaturation du tryptophane pourraient donc être représentées comme suit :



formylcynurénine



Notons toutefois que selon J. H. Clark (10) les chaînons libérés au cours d'une dénaturation sous l'action des U.V. peuvent réagir avec le solvant et produire un autre type de dénaturation. La glycine ne provient pas de l'alanine parce qu'elle n'apparaît que lorsque le corps de fluorescence jaune-vert tend à disparaître à son tour et d'autre part des

essais antérieurs sur l'alanine (11) nous ont montré que celle-ci ne donne pas naissance à la glycine après irradiation.

Par contre lorsqu'on traite une solution d'acide aspartique pur par les rayons U.V. 2537 A, on observe d'abord la formation d'alanine, puis apparaît de la glycine. Nous voyons donc que l'alanine ne provient pas uniquement de la chaîne latérale du tryptophane.

Nous avons signalé que le composé de fluorescence jaune-vert est odoriférant, à ce sujet il est intéressant de constater que TABONE et al (12) lors de l'étude de la décomposition du tryptophane sous l'effet des alcalis dilués à la température de 37° ont pu mettre en évidence, au sein des solutions alcalines, l'existence d'une substance X ayant le même comportement chromatographique que la cynurénine. Cette substance qu'ils sont parvenus à isoler, possède une odeur de jasmin. Ces auteurs supposent qu'il s'agit d'ortho-amino-acétophénone qui aurait la cynurénine comme précurseur.

Ce composé étant à son tour le précurseur de l'acide anthranilique.

Dans nos essais cependant nous n'avons décelé l'acide anthranilique à aucun moment, que ce soit lors de l'irradiation du l-tryptophane ou de l'acide cynurénique.

L'acide anthranilique paraît donc exclu des stades de la dégradation ultra-violette.

Il est intéressant de comparer la dénaturation du l-tryptophane dans ou par les organismes vivants et celle que nous avons observée.

Il faut faire la distinction entre le métabolisme dans les tissus animaux et celui qui prend place sous l'action de divers microorganismes.

Selon les travaux de STANIER et al (13, 14, 15) l'oxydation du tryptophane peut suivre deux chemins.

1°) Certaines souches oxydent le tryptophane en suivant le chemin aromatique :

l-tryptophane ⟶ l-cynurénine ⟶ acide anthranilique ⟶ catéchol.

2°) D'autres souches en suivant le chemin quinolique :

Tryptophane ⟶ cynurénine ⟶ acide cynurénique sans passer par le stade anthranilique.

La majorité des souches pseudomonas métabolisent le tryptophane selon le premier schéma. Les auteurs ont obtenu des extraits cellulaires avec lesquels le tryptophane subit une peroxydation initiale en formyl-cynurénine avant le stade cynurénine. Cette dernière subit une décomposition non-oxydative en acide anthranilique et alanine. Cet acide est oxydé à son tour via le catéchol en acide cis-cis muconique.

En ce qui concerne le métabolisme du tryptophane dans des tissus vivants, relevons en ordre principal les travaux de MEHLER et KNOX

(4), (5) signalant que la cynurénine se forme en partant de tryptophane dans les tissus du foie et dans des conditions aérobiques. L'oxydation dans ce système conduit à la formylcynurénine, laquelle sous l'action de la formylase est hydrolysée en acide formique et cynurénine.

Notons que l'ozonolyse du tryptophane conduit également à la formation de formylcynurénine. Selon ces auteurs elle doit résulter de l'ouverture α, β du noyau de tryptophane.

C. E. Dalgliesh et al (16) admettent que, en ce qui concerne le métabolisme enzymatique du tryptophane chez les mammifères, insectes, moisissures et bactéries, un des principaux chemins de la dégradation doit être :

tryptophane ⟶ formylcynurénine ⟶ cynurénine ⟶ 3 - hydroxycynurénine ⟶ acide 3 — hydroxyanthranilique ⟶ acide nicotinique. Mais ces auteurs reconnaissent qu'en dépit du grand nombre de travaux effectués dans ce domaine, il reste encore beaucoup à faire pour élucider les systèmes développés par les enzymes. Etudiant les métabolites du tryptophane, excrétés par les rats soumis à un régime déficient en pyridoxine, ils n'ont pas trouvé moins de 9 métabolites qui sont fluorescents sous les rayons ultra-violets. Plusieurs parmi ceux-ci ne purent être identifiés. Parmi ces métabolites ne figuraient ni la formylcynurénine ni l'o-aminoacetophénone, ni l'acide anthranilique.

L'urine contenait outre la cynurénine, l'hydroxycynurénine, les acides cynuréniques et xanthuréniques, des produits de conjugaison de ces diverses substances.

Selon Mason et Bery (17) qui ont étudié le métabolisme du tryptophane dans les tissus du foie du rat en utilisant la séparation chromatographique, le foie du rat normal est capable de convertir le l-tryptophane en cynurénine, acide cynurénique et dans une faible mesure en acide anthranilique. Le rein qui métabolise plus rapidement le tryptophane, produit au lieu d'acide anthranilique deux autres corps fluorescents qui semblent apparentés à l'acide xanthurénique.

Notons que ces auteurs relatent que plusieurs métabolites du tryptophane peuvent être localisés par les taches qu'ils forment avec la ninhydrine et la p - dimethyl aminobenzaldéhyde.

De ce qui précède nous voyons que sous l'action du rayonnement lumineux 2537 A le premier stade de la dégradation du l-tryptophane donne lieu à un corps : la formylcynurénine que l'on retrouve parmi les métabolites provenant de la dénaturation de cet acide aminé sous l'action enzymatique par/ou dans certains organismes vivants.

Il ne serait pas étonnant que la substance odoriférante, que nous n'avons pu identifier, se retrouve également dans le métabolisme in-vitro et in-vivo.

Enfin certains auteurs signalent la formation d'alanine par décomposition non oxydative de la formyl-cynurénine, acide aminé que nous obtenons également sous l'action des rayons U.V.

Ces constatations parlent en faveur des deux genres de dénaturations que nous avons exposés précédemment.

L'action des rayons U.V. de longueur d'onde 2537 A sur la molécule du l-tryptophane doit se comprendre comme étant d'une part une dénaturation par oxydation sous l'influence de l'oxygène dissout activé et d'autre part une décomposition sous l'influence de quanta d'énergie lumineuse absorbée.

V. — CONCLUSIONS.

La spectrophotométrie en ultra-violet, la polarographie et la chromatographie nous ont permis de suivre la dégradation de la molécule de l-tryptophane sous l'action de l'ultra-violet 2537-A.

Il en ressort qu'en certains points il y a un parallélisme entre la dénaturation in-vitro, in-vivo et celle que nous obtenons.

Le tryptophane se transforme d'abord en formylcynurénine, celle-ci se dégrade alors en une substance X odoriférante et de l'alanine.

La substance X à son tour donne naissance à de l'acide aspartique et du glycocolle. Ces 3 acides aminés représentent une des dernières phases de la dégradation.

Nous devons cependant faire remarquer qu'au cours de l'irradiation apparaît, au sein de la solution, une substance brune qui se redissout lorsqu'on prolonge l'exposition aux rayons U.V. Cette substance brune n'a pas été caractérisée.

Nous avons constaté que la photolyse des acides aminés doit être revue à la lumière de ce que nous venons d'exposer.

En effet, trop de travaux portent sur des études ne précisant pas la nature de la lumière U.V. La grande majorité des irradiations est effectuée en utilisant des types de lampes émettant soit la totalité du spectre U.V., soit le rayonnement émis dans l'ultra-violet de grandes longueurs d'ondes.

Il importe, ainsi que nous avons eu l'occasion de le mettre en évidence, de veiller à de nombreux points dont les principaux sont :

1°) Longueur d'onde utilisée. C'est la raie 2537 A qui possède l'action la plus énergique ;

2°) Les concentrations des solutions irradiées. Nous avons vu quelle grande importance il faut lui attribuer ;

3°) La distance de la source irradiante à la surface irradiée.

Les résultats que nous avons obtenus pour le l-tryptophane se rapportent au rayonnement 2537 A, pour une concentration 10^{-2} M en acide aminé et une distance de 2 cm entre le tube lumineux et la surface du liquide.

Laboratoire Central
du Ministère des Affaires Economiques
BRUXELLES

Laboratoire de Chimie Générale
de l'Institut Agronomique de l'Etat
GEMBLOUX

BIBLIOGRAPHIE

(1) J. TABONE, D. ROBERT, S. TEOMASSEY et N. NAMOUNAS (1950) Bull. Soc. Chim. Biol. 32, 259.

(2) Piero SENSI (1951) Acta Vitaminologica fascicule 3.

(3) KOTAKE (1931) 1937 Tabulae Biologicae Periodicae VI, 311.

(4) W. E. KNOX et A. H. MEHLER (1950) J. Biol. Chem. 187, 419.

(5) A. H. MEHLER et W. E. KNOX (1950) J. Biol. Chem. 187, 431.

(6) S. FIALA (1948) Biochem. Zeit. 318, 67.

(7) R. GUILLEMET (1942) Bull. Soc. Chim. Biol. (XXIV) 186.

(8) Felix HAUROWITZ et Adnan TUMER (1948-49) Enzymologia 13, 229.

(9) E. K. RIDAEL et J. S. MITCHELL (1937) Proc. Roy. Soc. London A. 159, 206

(10) J. H. CLARK (1935) J. Gen. Physiol. 19, 199.

(11) A. R. DESCHREIDER (1951) Chimie analytique Vol. 33, n° 11 bis novembre.

(12) J. TABONE, N. NAMOUNAS et D. ROBERT, Bull. Soc. Chim. Biol. (1951) 33, 1560.

(13) R. Y. STANIER, O. HAYAISHI et M. TSUCHIDA (1951) J. of Bacteriology 62, 355.

(14) R. Y. STANIER et O. HAYAISHI (1951) J. of Bacteriology 62, 367.

(15) O. HAYAISHI et R. Y. STANIER (1951) J. of Bacteriology 61, 691.

(16) Dr C. E. DAGLIESH, Dr W. E. KNOX et Dr A. NEUBERGER F.R.S. (1951) Nature 168, 20.

(17) Merle MASON et Clarence P. BERY (1951) J. of Biol. Chem. 188, 783.

ECONOMIE FORESTIERE (AMENAGEMENT)

A propos d'une loi mathématique simple concernant la structure équilibrée des peuplements forestiers (*) (**) (***)

Deuxième partie

par

Anne LENGER

Assistante au Bureau de Biométrie (****)

INTRODUCTION

Dans la première partie de ce travail (1), nous avons défini trois caractéristiques (a, K, b) de la structure équilibrée des peuplements forestiers d'âges multiples et nous avons montré — par un exemple emprunté à M. H. A. Meyer (2) — comment il était possible de calculer leurs valeurs numériques dans chaque cas particulier. Nous avons signalé en outre que, dans les peuplements mélangés, il pouvait être utile de noter l'importance relative des différentes essences présentes ou de l'une d'entre elles.

Notre but, à présent, est d'analyser les relations qui lient ces divers coefficients entre eux, de voir le parti que l'on peut en tirer sur le plan pratique et d'exposer la raison et le sens des méthodes utilisées par M. Meyer (2). Nous lui empruntons un exemple (2) qui servira à illustrer notre travail :

(*) Déposé à la rédaction le 19 mars 1955.

(**) Etude effectuée sous la direction de M. le Professeur BOUDRU.

(***) Nous remercions bien vivement M. le Professeur L. MARTIN des conseils qu'il nous a donnés sur le plan biométrique.

(****) Subsidié par l'Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.).

M. Meyer a rencensé 26 stations forestières vierges (forêt mélangée de hêtres, bouleaux, érables et tsugas) situées dans différentes régions du Nord de la Pennsylvanie ; ces stations sont d'étendues variables, comprises entre 5,0 et 36,9 acres (*) ; elles couvrent au total 419,2 acres (**). Le tableau I indique la superficie de chaque station, les valeurs respectives de leurs caractéristiques a, K et b, ainsi que le pourcentage de tsugas. Nous donnerons à ces variables les symboles X_1, X_2, X_3 et X_4 (X_1 correspondant au coefficient a, X_2 au coefficient K, X_3 au coefficient b, X_4 au pourcentage de tsugas).

TABLEAU I

Numéro de la Station	Superficie en acres	$a = X_1$	$K = X_2$	$b = X_3$	Pourcentage de tsugas $= X_4$
1	12,2	0,143	33	31	20
2	14,4	0,114	24	33	11
3	10,8	0,072	12	31	6
4	9,4	0,175	53	35	14
5	5,0	0,088	18	33	45
6	11,7	0,145	41	31	25
7	17,6	0,145	47	31	25
8	13,5	0,140	40	31	21
9	22,1	0,122	28	31	14
10	9,7	0,180	41	33	21
11	34,6	0,071	11	33	46
12	7,4	0,079	17	31	45
13	36,9	0,073	10	35	54
14	21,5	0,085	10	35	33
15	15,3	0,135	23	35	32
16	32,3	0,116	19	37	51
17	12,5	0,150	30	41	24
18	11,2	0,137	27	39	40
19	15,4	0,131	31	39	33
20	14,6	0,092	15	39	50
21	10,6	0,102	18	39	41
22	14,3	0,083	12	39	38
23	21,4	0,128	26	39	25
24	9,2	0,103	19	39	27
25	24,2	0,134	31	41	26
26	11,4	0,118	20	41	38

CONCEPT D'ECHANTILLON ET DE POPULATION

Notons que ces 26 stations ont été choisies parmi l'ensemble des stations de la forêt vierge du type considéré : elles constituent un *échantillon extrait d'une population* bien déterminée. Or, cette dernière

(*) Pour rappel, l'acre vaut 40,4672 ares.
(**) Soit 169 Ha, 63 a, 85 ca.

seule est intéressante et c'est à son propos que l'on désire dégager l'une des lois auxquelles les caractéristiques de sa structure semblent obéir : comme il est impossible de la connaître dans son entièreté, l'on doit se contenter d'un échantillon ; celui-ci sera aussi représentatif que possible de la population. Les paramètres de la loi qui traduit la relation existant entre les différentes caractéristiques, formulée en termes mathématiques, auront une valeur numérique propre à l'échantillon et seront une *estimation* de la valeur réelle — inconnue et non connaissable — des paramètres de la population ; il est possible cependant de prévoir, à un seuil de probabilité donné, les limites (appelées « limites fiduciaires ») entre lesquelles se situe cette valeur réelle (7). Ajoutons que cette *loi* sera valable en principe, non seulement pour la forêt vierge considérée, mais également pour tous les peuplements mélangés d'âges multiples et de structure équilibrée.

Mais avant d'aborder l'étude particulière de la relation qui lie les variables X_1, X_2, X_3 et X_4, nous pensons qu'il est bon de rappeler deux notions statistiques fondamentales sur lesquelles reposeront les développements ultérieurs : *la régression et la corrélation linéaires* (3) (4).

REGRESSION ET CORRELATION LINEAIRES

1) Régression linéaire.

Le problème, envisagé sous son angle le plus large, consiste à décrire, à l'aide d'une fonction mathématique, la relation existant entre deux ou plusieurs variables. Le choix de la fonction mathématique dépend du caractère des observations biologiques et du but de l'analyse biométrique.

Considérons le cas le plus simple de deux variables, x et y par exemple. La loi exprimant l'association de x et y peut s'écrire algébriquement sous la forme $y = f(x)$ ou $x = f_1(y)$. Nous voulons dire par là que la variable y est fonction de la variable x, ou inversément. L'expérimentateur seul peut décider du sens de la fonction selon que la variable y est biologiquement dépendante (ou fonction) de x, ou inversement.

Supposons, pour les besoins de notre exposé, que y soit la variable dépendante et x la variable indépendante : nous aurons $y = f(x)$. C'est le cas, par exemple, de la croissance en hauteur de l'épicéa en fonction du temps lorsque la variable y représente la hauteur des arbres et la variable x le temps.

De plus, si la variable indépendante x peut être mesurée avec exactitude, alors que la variable dépendante y est soumise à l'action de facteurs incontrôlables — tout en étant normalement distribuée (distribution gaussienne) autour de sa moyenne pour chaque valeur

correspondante de x —, la fonction est appelée conventionnellement régression de y sur x.

Quant à la forme de la fonction, son choix est guidé, et par le phénomène biologique qu'elle doit traduire, et par le souci permanent de la simplicité. Nous n'envisageons ici que le cas le plus simple, celui de la fonction *linéaire* que nous écrivons sous la forme

$$Y = a + b_{yx} (x - \bar{x}).$$

Notons qu'il est bien souvent possible, par une transformation logarithmique ou autre, de réduire une fonction plus complexe à une fonction du premier degré (nous en avons eu un exemple dans la première partie de ce travail, p. 248). Le graphique de cette fonction est une droite appelée *droite de régression de Y sur x.*

Connaissant la valeur numérique des constantes a et b_{yx}, il est possible de calculer la valeur de Y — attendue en vertu de l'équation et des données expérimentales — correspondant à une valeur donnée de x. Cependant, quelles valeurs attribuer à a et b_{yx} à partir d'un ensemble d'observations ou mesures biologiques recueillies par paires ? Il convient de leur donner les valeurs qui correspondent à la fonction la mieux ajustée à ces observations et, pour ce faire, d'utiliser la méthode des moindres carrés décrite antérieurement (1). Par cette méthode, nous obtenons des estimations — dont la précision peut être calculée à un seuil de probabilité donné — de a et b_{yx} qui nous permettent de prédire valablement la valeur de Y en fonction de x sur la base d'une seule expérience ; leurs formules sont les suivantes :

$$a = \frac{Sy}{n} = \bar{y}$$

$$b_{yx} = \frac{S(y-\bar{y})\ (x-\bar{x})}{S(x-\bar{x})^2}$$

Notons encore que dans certaines expériences biologiques, la variable x peut être — comme y — soumise à l'action de facteurs incontrôlables et, par conséquent, sujette à variations selon une distribution normale ou gaussienne. Dans ce cas, la régression de x sur y — comme celle de y sur x — peut être calculée valablement du point de vue statistique. Ces deux régressions ne seront cependant pas les mêmes et leurs droites de régression, loin de se confondre, se coupent, le rôle joué par l'une et l'autre variable (dépendante et indépendante) étant différent.

2) Corrélation linéaire.

D'autre part, l'expérience biologique ne permet pas toujours de considérer l'une des deux variables x et y, toutes deux étant normalement distribuées, comme dépendante de l'autre. Dans ce cas, l'ajustement d'une droite de *régression* aux paires de données expérimentales ne se justifie pas. Pour traduire la covariation de x et de y, on utilise

alors le coefficient de corrélation r_{xy}, qui est la moyenne géométrique des deux coefficients de régression b_{xy} et b_{yx} et dont la formule est la suivante :

$$r_{xy} = \frac{S(x - \overline{x})\ (y - \overline{y})}{\sqrt{S(x - \overline{x})^2\ .\ S(y - \overline{y})^2}}$$

Ce coefficient de corrélation serait d'application, par exemple, dans le cas où nous aurions à exprimer la covariation de la hauteur et de la circonférence (à 1,50 m du sol) de l'épicéa.

Le coefficient de corrélation r_{xy}, de par son expression algébrique même, varie entre $+1$ et -1 :

1) Les cas limites $(-1, +1)$ caractérisent une corrélation parfaite qui se représente graphiquement, dans un espace à deux dimensions (x en abcisse, y en ordonnée), sous la forme d'un alignement rigoureux des points expérimentaux suivant une droite : il est concevable en effet qu'un tel état de chose ne soit pas dû au hasard ; au contraire, il semble qu'une covariation aussi étroite de deux variables biologiques doive être déterminée par un ou plusieurs facteurs incontrôlables ; la valeur du coefficient de corrélation traduit ce fait, sans se préoccuper cependant de sa causalité.

2) La valeur zéro du coefficient, par contre, traduit une corrélation linéaire inexistante ; elle correspond à une dispersion totale des points du graphique, soit à une répartition qui semble due au hasard seul.

Enfin, en présence d'un coefficient de corrélation donné, la question est de savoir si sa valeur peut être considérée — à un seuil de probabilité donné — comme étant significativement différente de zéro. Cette question peut être résolue par un test statistique qu'il est hors de propos de développer ici (3) (4).

RELATIONS EXISTANT ENTRE LES QUATRE CARACTERISTIQUES (a, K, b et le pourcentage de tsugas) PRISES DEUX A DEUX

Nous en revenons à présent à l'étude de la relation qui lie deux à deux les variables X_1, X_2, X_3 et X_4 (X_1 = a, X_2 = K, X_3 = b, X_4 = pourcentage de tsugas), sur la foi de l'échantillon des valeurs numériques du tableau I et compte tenu de l'étendue variable des différentes stations forestières.

Pour la facilité de notre exposé, choisissons deux de ces variables : considérons les valeurs expérimentales des paramètres a et K, soit les variables X_1 et X_2.

L'examen du tableau I nous révèle que des petites valeurs de X_1 correspondent à de petites valeurs de X_2 ; de même, de plus grandes

valeurs de X_1 aux grandes valeurs de X_2. Il existe donc, semble-t-il, une covariation *positive*, qui paraît étroite, de la valeur des variables par station.

Ce fait est confirmé par la première figure du graphique I dans laquelle sont portées en abcisse la variable X_1 et en ordonnée la variable X_2 ; chacun des points de cette figure correspond à l'une des 26 stations forestières de l'échantillon. Ces points sont loin d'être dispersés au hasard aux quatre coins du graphique ; ils sont au contraire groupés et nous pourrions leur circonscrire une ellipse dont l'axe principal s'inclinerait de gauche à droite sur l'axe des abcisses. Est-ce à dire que nous pouvons leur ajuster une *droite de régression ?* Certes non. En effet, alors que les deux variables semblent soumises à l'action de facteurs incontrôlables, et bien que l'on puisse leur supposer une distribution normale ou gaussienne, on ne peut pas les considérer comme étant biologiquement dépendantes l'une de l'autre. En conséquence, le coefficient de corrélation seul peut exprimer leur covariation.

La formule du coefficient de corrélation telle que nous l'avons donnée précédemment doit être modifiée dans ce cas particulier, car il faut tenir compte de l'étendue variable des différentes stations. Elle sera (*) :

$$r_{12} = \frac{S\, w\, (X_1 - \overline{X}_1)\ (X_2 - \overline{X}_2)}{\sqrt{Sw(X_1 - \overline{X}_1)^2 .\ Sw(X_2 - \overline{X}_2)^2}}$$

r_{12} = coefficient de corrélation pondérée des variables X_1 et X_2

S = signe de sommation

w = poids (**) statistique mesuré par la superficie de la station (exprimée en acres)

$\overline{X}_1$ = moyenne pondérée des X_1

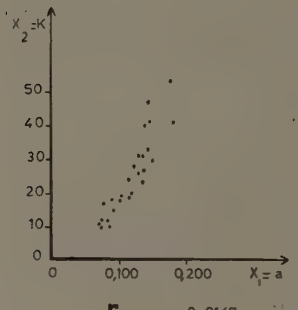
$$= \frac{SwX_1}{Sw}$$

$\overline{X}_2$ = moyenne pondérée des X_2

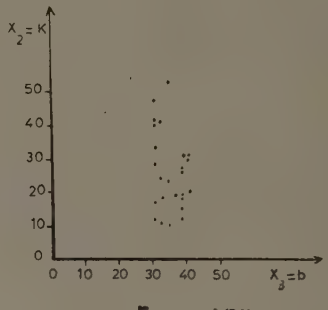
$$= \frac{SwX_2}{Sw}$$

(*) On pourrait appeler le coefficient r_{12} ainsi défini par M. Meyer, « coefficient de corrélation pondérée » de manière à le différencier du coefficient de corrélation courant dont il n'a pas toutes les propriétés, ni toute la portée statistiques. Et d'une manière générale, nous conseillons aux forestiers désireux d'appliquer les méthodes de M. Meyer de recenser, si possible, des stations d'égales étendues afin d'éviter les restrictions que cette formule implique et de pouvoir analyser les données expérimentales d'une manière encore plus approfondie.

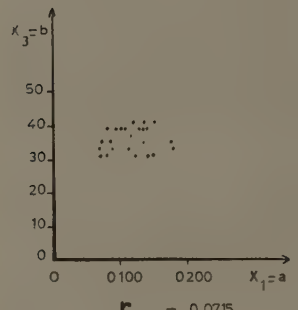
(**) En anglais *weight*, d'où la notation w.



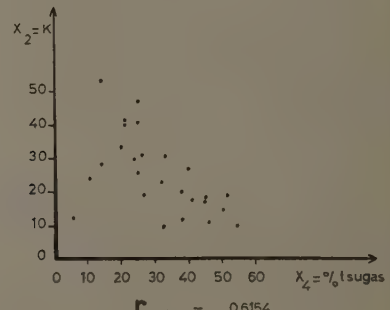
$r_{12} = 0,9147$



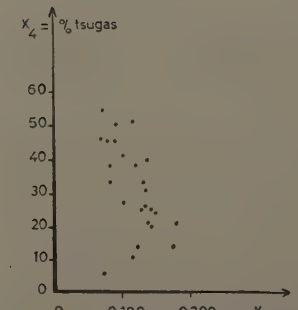
$r_{23} = -0,1581$



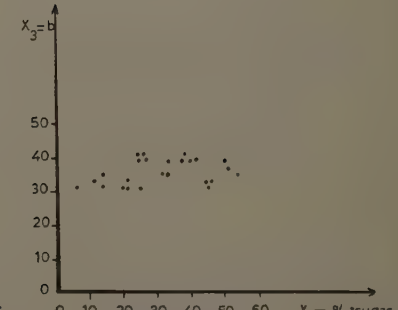
$r_{13} = 0,0715$



$r_{24} = -0,6154$



$r_{14} = -0,5669$



$r_{34} = 0,2694$

GRAPHIQUE I

Voici, à titre d'exemple, comment l'on peut calculer la valeur de r_{12} :

1) $S\,w\,(X_1 - \overline{X}_1)\,(X_2 - \overline{X}_2)$

$$= SwX_1X_2 - \overline{X}_1.SwX_2 - \overline{X}_2.SwX_1 + \overline{X}_1\overline{X}_2.Sw$$

$$= SwX_1X_2 - \frac{SwX_1}{Sw}.SwX_2 - \frac{SwX_2}{Sw}.SwX_1 + \frac{SwX_1.SwX_2}{Sw}$$

$$= 1245{,}1800 - 1114{,}3621 = 130{,}8179$$

2) $S\,w\,(X_1 - \overline{X}_1)^2$

$$= SwX^2{}_1 + \overline{X}^2{}_1.Sw - 2\,\overline{X}_1.SwX_1$$

$$= 5{,}75870310 + 5{,}38615169 - 10{,}77230340 = 0{,}37255139$$

$S\,w\,(X_2 - \overline{X}_2)^2$

$$= 285.454{,}0000 + 230.554{,}7732 - 461.109{,}5466$$

$$= 54.899{,}2266$$

3) $$r_{12} = \frac{S\,w\,(X_1 - \overline{X}_1)\,(X_2 - \overline{X}_2)}{\sqrt{Sw(X_1 - \overline{X}_1)^2.Sw(X_2 - \overline{X}_2)^2}} = \frac{130{,}8179}{\sqrt{0{,}37255139 \times 54.899{,}2266}}$$

$$= 0{,}9147$$

Les variables X_1 et X_2 ne sont pas les seules de l'exemple emprunté à M. Meyer et les figures du graphique I illustrent les valeurs des six coefficients de corrélation exprimant la covariation des quatre variables en jeu liées deux à deux. Les six coefficients ont les valeurs suivantes : $r_{12} = 0{,}9147$, $r_{13} = 0{,}0715$, $r_{14} = -0{,}5669$, $r_{23} = -0{,}1581$, $r_{24} = -0{,}6154$, $r_{34} = 0{,}2694$. Nous voyons que, en valeurs absolues, c'est-à-dire abstraction faite de leur signe, ces coefficients reflètent une covariation linéaire plus ou moins étroite selon les variables envisagées.

VARIATION SIMULTANEE DES QUATRE VARIABLES (X_1, X_2, X_3, X_4)

Nous avons étudié jusqu'à présent la covariation des quatre variables X_1, X_2, X_3 et X_4, prises deux à deux. Nous avons, en particulier, représenté leur covariation dans des espaces à deux dimensions, c'est-à-dire dans des plans.

Notre but, à présent, est de dégager une loi de covariation des quatre variables et de définir numériquement, sur cette base, à partir des données expérimentales, des types de structure équilibrée de la forêt vierge mélangée d'âges multiples.

De même qu'il est commode de représenter la covariation de deux variables dans un espace à deux dimensions, il est également utile de

représenter la covariation de quatre variables dans un espace à quatre dimensions. De même qu'un point dans un espace à deux dimensions représente un ensemble de deux nombres, un point dans un espace à quatre dimensions est un ensemble de quatre nombres. De même, une droite sera déterminée par deux de ses points ou par un point et les angles qu'elle forme avec chacun des axes de coordonnées de l'espace.

Considérons l'espace à quatre dimensions dont les points sont définis par les quatre coordonnées réduites x_1, x_2, x_3 et x_4, mesurées à partir des quatre variables utilisées précédemment (X_1, X_2, X_3 et X_4) au moyen de la déviation standard correspondante comme unité :

$$x_1 = \frac{X_1 - \overline{X}_1}{s_1} \; ; \; x_2 = \frac{X_2 - \overline{X}_2}{s_2} \; , \; \ldots \; ,$$

sachant que $X_1 = \frac{SwX_1}{Sw}$, $X_2 = \frac{SwX_2}{Sw}$... (moyennes pondérées)

et que $s_1 = \sqrt{\frac{Sw(X_1 - \overline{X}_1)^2}{Sw}}$, $s_2 = \sqrt{\frac{Sw(X_2 - \overline{X}_2)^2}{Sw}}$, ...

($s_1, s_2, \ldots$ = mesures de la dispersion des valeurs des variables X_1, X_2 ... autour de leurs moyennes pondérées respectives
= déviations standards « pondérées » d'une observation) (*).

(*) Cette fois encore, la définition de s_1, s_2, ..., s'écarte de la définition courante de la déviation standard. M. Meyer les appelle « déviations standards d'une observation de poids 16 » (16 = superficie moyenne des 26 stations expérimentales = Sw/N = 419,2/26). Il les calcule par une formule équivalente que voici :

$$s_1 = \sqrt{\frac{\frac{Sw(X_1 - \overline{X}_1)^2}{N}}{\frac{Sw}{N}}} \; , \; s_2 = \sqrt{\frac{\frac{Sw(X_2 - \overline{X}_2)^2}{N}}{\frac{Sw}{N}}} \; , \; \ldots$$

où $\sqrt{\frac{Sw(X_1 - \overline{X}_1)^2}{N}}$, $\sqrt{\frac{Sw(X_2 - \overline{X}_2)^2}{N}}$, ... représentent pour lui les « déviations standards d'une observation de poids 1 ».

Exemple numérique :

$Sw(X_1 - \overline{X}_1)^2 = 0{,}37255139$

Déviation standard d'une observation de poids 1 $= \sqrt{\frac{0{,}37255139}{26}}$

$= 0{,}1197$

Déviation standard d'une observation de poids 16 $= 0{,}1197/\sqrt{16}$

$= 0{,}0299$

$= s_1$.

Ce choix de quatre nouvelles variables (qui se traduit, géométriquement, par une translation du système de référence et un changement d'unité) est commode pour trois raisons :

a) l'origine du nouveau système de référence correspond au point dont les coordonnées sont les moyennes pondérées ;

b) par le changement d'unité, on tient compte de la variabilité biologique des observations ;

c) les x_i sont des nombres purs, sans dimension physique.

Dans cet espace à quatre dimensions, soit les 26 points expérimentaux dont les coordonnées x_1, x_2, x_3 et x_4 correspondent aux 26 stations forestières de notre exemple. Décidons d'ajuster, *par la méthode des moindres carrés,* une droite au nuage des 26 points expérimentaux, c'est-à-dire une droite telle que la somme des carrés des distances qui la séparent de ces points soit minimum ; cette droite passera par le point dont les coordonnées ont la valeur des moyennes pondérées : dans le système de référence choisi, ce point est l'origine des axes.

Un des points de la droite étant donné, il nous reste — pour la définir — à déterminer ses cosinus directeurs (ou des nombres qui leur sont proportionnels). Nous désignerons ces cosinus par les symboles l_1, l_2, l_3, l_4 : ils représentent les projections, sur les axes de coordonnées, d'un segment unité porté sur la droite. Les équations de la droite s'expriment alors sous la forme :

$$\frac{x_1}{l_1} = \frac{x_2}{l_2} = \frac{x_3}{l_3} = \frac{x_4}{l_4} .$$

Ces équations traduisent le fait que les coordonnées des points de la droite sont proportionnelles aux cosinus directeurs. En effet, si les cosinus directeurs sont les projections d'un segment unité pris sur la droite, les projections de tout autre segment (allant de l'origine à un point quelconque de la droite) leur sont proportionnelles.

A présent, le problème consiste donc à déterminer les valeurs l_1, l_2, l_3, l_4 des cosinus directeurs d'une droite ajustée, par la méthode des moindres carrés, aux 26 points expérimentaux. Sans entrer dans des détails techniques, nous dirons que ces quatre inconnues sont les solutions d'un système de quatre équations linéaires et homogènes,

$$\begin{array}{llllllll}
l_1(1-\lambda) & + & l_2 r_{12} & + & l_3 r_{13} & + & l_4 r_{14} & = 0 \\
l_1 r_{12} & + & l_2(1-\lambda) & + & l_3 r_{23} & + & l_4 r_{24} & = 0 \\
l_1 r_{13} & + & l_2 r_{23} & + & l_3(1-\lambda) & + & l_4 r_{34} & = 0 \\
l_1 r_{14} & + & l_2 r_{24} & + & l_3 r_{34} & + & l_4(1-\lambda) & = 0
\end{array} \qquad (1)$$

dont les coefficients sont les coefficients de corrélation linéaire pondérée calculés précédemment ; de plus, elles dépendent d'un paramètre λ.

La condition de compatibilité des équations de ce système est que son déterminant soit nul :

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{12} & 1-\lambda & r_{23} & r_{24} \\ r_{13} & r_{23} & 1-\lambda & r_{34} \\ r_{14} & r_{24} & r_{34} & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0 \qquad (2)$$

Comme il est d'ordre 4, il définit une équation du quatrième degré dont l'inconnue est le paramètre λ. Dès lors, ce paramètre λ peut admettre quatre valeurs. A chacune d'elles correspondent des valeurs numériques des cosinus directeurs, solutions du système (1). Parmi ces quatre valeurs de λ, nous devons choisir la plus grande (*).

Le calcul de λ étant très long et pratiquement irréalisable, M. Meyer utilise une méthode rapide par itérations successives mise au point par M. H. Hotelling (5) (6) :

TECHNIQUE DE RESOLUTION DE L'EQUATION PAR ITERATIONS SUCCESSIVES

Nous donnons dans le tableau II le détail des calculs tels qu'ils sont présentés par M. H. A. Meyer (2). Et voici quelques indications concernant la marche à suivre :

1) Multiplier les valeurs des colonnes (1) et (2) de la matrice des coefficients de corrélation pondérée (I) par les valeurs d'essai 1 indiquées dans la colonne (6)) et les valeurs des colonnes (3) et (4) par les valeurs d'essai — 1 (indiquées dans la colonne (6)). Les valeurs ainsi obtenues sont notées dans l'alinéa (II) ;

2) En (II), additionner — ligne par ligne — les valeurs numériques des quatre premières colonnes et indiquer les totaux, en regard de chaque ligne, dans la colonne (5). Diviser ces totaux par le plus grand d'entre eux, soit par 2,6882 et noter, le résultat de la division dans la colonne (6). Ces dernières valeurs tiendront lieu de nouvelles valeurs d'essai ;

3) Multiplier les valeurs de la colonne (1) de l'alinéa (II) par la première valeur d'essai de la colonne (6), soit par 0,8965 ; les valeurs de la colonne (2) par la deuxième valeur d'essai de la colonne (6), soit par 1,0000 ; les valeurs de la colonne (3) par la troisième valeur d'essai, soit par — 0,5044 ; les valeurs de la colonne (4) par la quatrième valeur d'essai, soit par — 0,9120. Noter successivement les résultats de ces multiplications dans les colonnes correspondantes de l'alinéa (III) ;

(*) Correspondant au plus grand axe d'un ellipsoïde qui serait circonscrit aux points expérimentaux de l'espace à quatre dimensions.

4) En (III), additionner — ligne par ligne — les valeurs numériques des quatre premières colonnes et transcrire les totaux en regard de chaque ligne, dans la colonne (5). Diviser ces totaux par le plus grand d'entre eux, soit par 1,3303 et noter les quotients, en regard, dans la colonne (6). Ces valeurs tiendront lieu de nouvelles valeurs d'essai.

TABLEAU II

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	1	0,9147	0,0715	—0,5669		1
	0,9147	1	—0,1581	—0,6154		1
I	0,0715	—0,1581	1	0,2694		—1
	—0,5669	—0,6154	0,2694	1		—1
	1,0000	0,9147	—0,0715	0,5669	2,4101	0,8965
	0,9147	1,0000	0,1581	0,6154	2,6882	1,0000
II	0,0715	—0,1581	—1,0000	—0,2694	—1,3560	—0,5044
	—0,5669	—0,6154	—0,2694	—1,0000	—2,4517	—0,9120
	0,8965	0,9147	0,0361	—0,5170	1,3303	1,0000
	0,8200	1,0000	—0,0797	—0,5612	1,1791	0,8863
III	0,0641	—0,1581	0,5044	0,2457	0,6561	0,4932
	—0,5082	—0,6154	0,1359	0,9120	—0,0757	—0,0569
	0,8965	0,8107	0,0178	0,0294	1,7544	1,0000
	0,8200	0,8863	—0,0393	0,0139	1,6989	0,9684
IV	0,0641	—0,1401	0,2488	—0,0140	0,1588	0,0905
	—0,5082	—0,5454	0,0670	—0,0519	—0,9347	—0,5328
	...	...	...	...	...	...
	0,9607	0,9147	—0,0159	0,4814	2,3409	0,9608
	0,8788	1,0000	0,0351	0,5226	2,4365	1,0000
XII	0,0687	—0,1581	—0,2217	—0,2288	—0,5399	—0,2216
	—0,5446	—0,6154	—0,0597	—0,8492	—2,0689	—0,8491
	0,9608	0,9147	—0,0158	0,4814	2,3411	0,9609
	0,8788	1,0000	0,0350	0,5225	2,4363	1,0000
XIII	0,0687	—0,1581	—0,2216	—0,2287	—0,5397	—0,2215
	—0,5447	—0,6154	—0,0597	—0,8491	—2,0689	—0,8492

Il convient de répéter ces itérations successives jusqu'à ce que les valeurs des quotients de la colonne (6) se stabilisent. Dans le cas présent, ceux-ci deviennent stationnaires à la 13^{me} itération. *Ces quotients sont des nombres proportionnels aux cosinus directeurs recherchés* l_1, l_2, l_3, l_4.

Or, la somme des carrés des cosinus directeurs doit être égale à 1 (*). D'où, en divisant les quotients q (repris du tableau II, alinéa XIII) par

(*) En vertu du théorème de Pythagore (dans un triangle rectangle, l'hypoténuse est égale à la somme des carrés des deux autres côtés) généralisé à l'espace à quatre dimensions.

la racine carrée de la somme de leurs carrés, on obtient les valeurs l_1, l_2, l_3 et l_4 des cosinus directeurs.

Soit,

q	q^2	Cosinus directeurs $= q/\sqrt{Sq^2}$
0,9609	0,92332881	0,5855
1,0000	1,00000000	0,6093
— 0,2215	0,04906225	— 0,1350
— 0,8492	0,72114064	— 0,5174
	2,69353170 $= Sq^2$	

$$\sqrt{Sq^2} = \sqrt{2{,}69353170} = 1{,}6412$$

A titre de contrôle, on voit que $Sl^2 = l^2_1 + l^2_2 + l^2_3 + l^2_4 = 0{,}3424 + 0{,}3712 + 0{,}0182 + 0{,}2677 = 0{,}9999$.

TYPES DE STRUCTURE EQUILIBREE

La méthode adoptée par M. Meyer, et que nous venons d'exposer, a une raison d'ordre pratique : définir des types de structure équilibrée de la forêt vierge mélangée d'âges multiples de Pennsylvanie. Il va sans dire qu'appliquée à d'autres forêts, elle conduirait au même but.

Par les équations de la droite ($x_1/l_1 = x_2/l_2 = x_3/l_3 = x_4/l_4$) ajustée à des points expérimentaux dans un espace à quatre dimensions et dont les valeurs numériques des cosinus directeurs (l_1, l_2, l_3, l_4) sont connues, M. Meyer a caractérisé la relation existant entre les quatre variables (x_1, x_2, x_3 et x_4). Dès lors, il s'est trouvé en mesure de calculer, pour des valeurs successives de l'une d'entre elles (choisies arbitrairement ou non), les valeurs correspondantes des trois autres variables. Ayant ensuite rendu les valeurs de ces variables (x_1, x_2, x_3, x_4) à leur forme originale ($X_1 = a$, $X_2 = K$, $X_3 = b$ et X_4 = pourcentage de tsugas), il a défini 8 types différents de structure équilibrée. Nous lui empruntons les tableaux III, IV et V établis comme suit :

1) M. Meyer a donné à la variable x_1 les valeurs successives suivantes : — 2,0, — 1,5, — 1,0, — 0,5, 0,0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0. Il en a déduit les valeurs correspondantes de x_2, x_3 et x_4, en se basant sur le fait que $x_2 = (l_2/l_1).x_1$, $x_3 = (l_3/l_1).x_1$, $x_4 = (l_4/l_1).x_1$. Ces valeurs sont consignées dans le tableau III. Notons-y également la moyenne pondérée, la déviation standard d'une observation de poids 1 et la déviation standard d'une observation de poids 16 de chacune des quatre variables (les procédés de calcul en ont été donnés précédemment).

2) Dans le tableau IV, M. Meyer nous indique la marche à suivre pour obtenir les valeurs de X_1 (ou du coefficient a) correspondant aux diverses valeurs attribuées à la variable x_1.

Pour rappel,

$$x_1 = \frac{X_1 - \overline{X_1}}{s_1},$$

d'où $X_1 = x_1.s_1 + \overline{X_1}$,

sachant que s_1 = déviation standard d'une observation de poids 16,

$\overline{X_1} = SwX_1/Sw$ = moyenne pondérée des X_1.

TABLEAU III

	a (x_1)	K (x_2)	b (x_3)	Pourcentage de tsugas (x_4)
Moyenne pondérée . . .	0,1134	23,5	34,6	33,2
Déviation standard d'une observation de poids 1 .	0,1197	45,9	14,0	54,7
Déviation standard d'une observation de poids 16	0,0299	11,5	3,5	13,7
Valeurs correspondantes de x_1, x_2, x_3 et x_4	2,0	2,081	— 0,461	— 1,767
	1,5	1,561	— 0,346	— 1,326
	1,0	1,041	— 0,231	— 0,884
	0,5	0,520	— 0,115	— 0,442
	0,0	0,000	0,000	0,000
	—0,5	—0,520	0,115	0,442
	—1,0	—1,041	0,231	0,884
	—1,5	—1,561	0,346	1,326
	—2,0	—2,081	0,461	1,767

TABLEAU IV

Méthode permettant d'obtenir les différentes valeurs du coefficient « a » correspondant aux diverses valeurs attribuées à la variable x_1		
x_1	$0,0299.x_1$	$X_1 = a = 0,1134 + 0,0299.x_1$
2,0	0,0598	0,1732
1,5	0,0448	0,1582
1,0	0,0299	0,1433
0,5	0,0150	0,1284
0,0	0,0000	0,1134
— 0,5	— 0,0150	0,0984
— 1,0	— 0,0299	0,0835
— 1,5	— 0,0448	0,0686
— 2,0	— 0,0598	0,0536

3) M. Meyer note dans le tableau V la valeur des caractéristiques a, K, b et le pourcentage de tsugas de 8 types différents et successifs de structure équilibrée de la forêt vierge mélangée d'âges multiples de Pennsylvanie. Ces valeurs sont calculées par le procédé que nous venons de décrire (alinéa 2 et tableau IV). Le 9me type, correspondant à $x_1 = -2{,}0$, n'est pas indiqué : il implique une valeur négative de K et exprimerait une impossibilité biologique.

TABLEAU V

Types de structure	a	K	b	Pourcentage de tsugas
A	0,1732	47,4	34,0 (pouces)	9,0 %
B	0,1582	41,5	34,4	15,0
C	0,1433	35,5	34,8	21,1
D	0,1284	29,5	35.2	27,1
E	0,1134	23,5	35,6	33,2
F	0,0984	17,5	36,0	39,3
G	0,0835	11,5	36,4	45,3
H	0,0686	5,5	36,8	51,4

L'on peut encore calculer, pour chacun de ces types de structure, le nombre d'arbres par acre et par classes de diamètre. Rappelons l'équation de la courbe exponentielle décroissante de distribution du nombre d'arbres par classes de diamètre :

$$Y = K.e^{-aX}$$

En intégrant cette fonction entre 7 et 9 pouces, par exemple, pour le type de structure équilibrée A défini par M. Meyer, l'on trouve :

$$-\int_7^9 47{,}4.e^{-0{,}1732.X}\,.dX = \frac{47{,}4}{-0{,}1732}\left(e^{-(0{,}1732 \times 9)} - e^{-(0{,}1732 \times 7)}\right)$$

$$= -273{,}67\ (0{,}2104 - 0{,}2975) = 23.8.$$

La valeur 23,8 représente le nombre d'arbres de diamètres compris entre 7 et 9 pouces (centre de cette classe de diamètres = 8 pouces = 20,32 cm) que doit comporter le type A de la forêt vierge de structure équilibrée.

Nous donnons ci-après (tableau VI) d'après M. Meyer — et après conversion des pouces en centimètres et des acres en hectares — la répartition du nombre d'arbres par classes de diamètre, correspondant à chacun des 8 types de structure équilibrée.

TABLEAU VI

Centre des classes de diamètre (en cm) mesuré à hauteur d'homme	Nombre d'arbres par ha dans les types de structure équilibrée							
	A	B	C	D	E	F	G	H
20,32	58,8	58,1	55,8	52,4	47,0	39,5	29,2	15,8
25,40	41,8	42,3	42,0	40,5	37,6	32,4	24,7	13,6
30,48	29,4	30,9	31,6	31,4	29,9	26,7	21,0	11,9
35,46	20,8	22,5	23,7	24,2	23,7	21,7	18,0	10,4
40,64	14,8	16,3	17,8	18,8	19,0	18,0	14,6	9,1
45,72	10,4	11,9	13,3	14,6	15,1	14,8	12,6	7,9
50,80	7,4	8,6	10,1	11,1	12,1	12,1	10,6	6,9
55,88	5,2	6,4	7,4	8,6	9,6	9,9	9,1	5,9
60,96	3,7	4,7	5,7	6,7	7,7	8,2	7,7	5,2
66,04	2,7	3,5	4,2	5,2	6,2	6,7	6,4	4,7
71,12	1,7	2,5	3,2	4,0	4,9	5,4	5,4	4,0
76,20	1,2	1,7	2,5	3,2	4,0	4,4	4,7	3,5
81,28	1,0	1,2	1,7	2,5	3,0	3,7	4,0	3,0
86,36	0,2	0,7	1,2	2,0	2,5	3,2	3,5	2,7
91,44	...	...	...	0,2	0,7	1,2	2,0	2,0
Totaux	199,1	211,3	220,2	225,4	223,0	207,9	173,5	106,6

Notons enfin qu'il est possible de calculer le volume total et la distribution du volume par classes de diamètre ou par groupes de classes pour chaque type de structure équilibrée. On peut faire de même en ce qui concerne la surface terrière. Dès lors, les types de structure sont caractérisés aussi complètement que possible.

CONCLUSION

Il ne nous appartient pas de reprendre ici les conclusions de M. Meyer concernant le cas particulier qu'il a étudié (forêt vierge d'âges multiples, mélangée de hêtres, bouleaux, érables et tsugas) (2). Notre seul but était d'exposer ses méthodes d'investigation.

Qu'il nous soit permis cependant, au terme de ce travail, de tirer une conclusion d'ordre général :

Comme nous l'avons dit dans la première partie de notre exposé (p. 254) (1), « il convient, pour maintenir l'équilibre d'une futaie jardinée, de respecter la forme *générale* de la fonction exponentielle qui définit la distribution des arbres dans les différentes classes de diamètre ». Mais, il ne faut pas perdre de vue « qu'il peut exister une infinité de peuplements divers soumis à cette loi, au même titre qu'il existe une infinité de courbes répondant à l'équation exponentielle la traduisant.

En effet, les paramètres a et K, ainsi que les autres caractéristiques auxquelles nous avons fait allusion dans notre exposé, sont différents d'une station à l'autre, et *peuvent varier au cours du temps dans une même station* ».

Il est, dès lors, important d'étudier ces paramètres et caractéristiques, ainsi que d'autres susceptibles d'intérêt chez nous. Cette étude permet, comme nous l'avons vu, d'établir des types de structure équilibrée à soumettre, en dernière analyse, au choix du forestier. Car c'est, en fait, à ce dernier de décider de l'opportunité de l'un ou l'autre type, compte tenu des contingences économiques, techniques et culturales qui dominent toutes ses préoccupations.

Disons, pour terminer, qu'il serait extrêmement intéressant d'appliquer les méthodes de M. Meyer à des données expérimentales recueillies dans l'une ou l'autre de nos forêts aménagées. Ceci nous permettrait, sans doute, d'en mesurer davantage encore la portée.

BIBLIOGRAPHIE

(1) LENGER, A. — A propos d'une loi mathématique simple concernant la structure équilibrée des peuplements forestiers — Bull. Inst. Agr. et Stat. Rech. Gx., pp. 241-254, XXII, 1954.

(2) MEYER, H. A. and STEVENSON, D. D. — The Structure and Growth of Virgin Beech-Birch-Maple-Hemlock Forests in Nothern Pennsylvania — Journ. Agri. Res., 67, pp. 465-484, 1943.

(3) HALD, A. — Statistical Theory with Engineering Applications — Wiley & Sons, N. Y., pp. 522-621, 1952.

(4) MATHER, K. — Statistical Analysis in Biology — Methuen & Co, LTD, London, pp. 109-173, 1951.

(5) HOTELLING, H. — Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components — Journ. Ed. Psychol., 24, pp. 417-441, 498-520, 1933.

(6) HOTELLING, H. — Simplified Calculation of Principal Components — Psychometrica, 1, pp. 27-35, 1936.

(7) FISHER, R. A. — Les Méthodes Statistiques adaptées à la Recherche Scientifique — traduit de l'anglais par I. Bertrand — Presses Universitaires, p. 8, 1947.

CENTRE DE CARTOGRAPHIE DES SOLS (*)

Différentes relations entre l'apparition de la gélivure chez le peuplier euraméricain et les principaux caractères morphologiques du sol en Belgique (**)

par

A. PECROT

C'est un agréable devoir d'exprimer ici notre profonde gratitude à Monsieur le professeur émérite A. Poskin, qui a guidé nos recherches et a bien voulu revoir ce texte. Nous remercions également Monsieur P. Flon, Ingénieur Forestier, Inspecteur des plantations de l'Union Allumettière, ainsi que les propriétaires de plantations qui, par leurs indications précieuses et leur aimable collaboration, ont rendu possible ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION
MODE OPERATOIRE
INFLUENCE DES PROPRIETES DU SOL SUR L'APPARITION DE LA GELIVURE :
- Influence de la profondeur utile de sol
- Influence des caractères de la nappe phréatique
- Influence du pH du sol
- Influence du drainage interne du sol
- Influence de la texture du sol
- Influence de la structure du sol

CONCLUSIONS
RESUME

(*) Organisme subsidié par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.).
(**) Déposé à la rédaction le 20 mai 1955.

C'est au cours des dernières années que l'attention des milieux forestiers a été attirée tout spécialement par la gélivure du peuplier.

Il y a peu de temps encore, le peuplier était planté surtout par pieds isolés ou en lignes, le long de ruisseaux, de clôtures, bordant des allées. La gélivure y était rare, et n'y atteignait pas, en tous cas, le pourcentage catastrophique que l'on trouve actuellement dans de trop nombreuses peupleraies. L'engouement actuel pour cette essence de rapport augmentant sans cesse, l'extension de la gélivure risque de devenir très dommageable si l'on n'y prend garde.

La Commission Nationale du Peuplier (*) a entrepris d'étudier ce phénomène, de prévoir les circonstances de son apparition et si possible d'y porter remède. C'est dans le cadre de ces travaux que nous avons essayé de rechercher les relations éventuelles entre la fréquence de la gélivure et les propriétés du sol (**).

Au fur et à mesure que s'est poursuivie notre étude et que s'amoncelaient nos observations, nous avons dû admettre la complexité et la multiplicité des facteurs susceptibles de provoquer l'apparition de la gélivure du peuplier. On pourrait classer en deux groupes l'ensemble de ces facteurs : les facteurs internes ou variétaux (dont l'action ne paraît pas encore élucidée), et les facteurs externes ou écologiques (peuplement, microclimat, exposition, sol...)

Parmi ces derniers, nous nous proposons d'étudier particulièrement les facteurs édaphiques, c'est-à-dire de rechercher l'influence du sol et spécialement de ses propriétés physiques sur la fréquence de la gélivure.

A première vue, il pourrait paraître risqué d'attribuer un rôle déterminant aux caractères du sol dans l'apparition d'un phénomène dont, à n'en pas douter, la cause immédiate est le froid ou du moins de profondes variations de température. Cependant, au cours de nos observations sur le terrain, nous avons trouvé si souvent une relation entre l'extension de la gélivure et tel ou tel caractère du sol, que nous avions acquis une certitude à ce sujet, dès avant le regroupement des résultats.

Toutefois, comme dans la plupart des phénomènes d'ordre biologique, ces corrélations sont loin d'être parfaites, le phénomène revêt des intensités très variables pour un même caractère pédologique examiné, et même de nombreux cas restent inexplicables au seul examen des propriétés du sol. Il semble donc probable que le facteur édaphique ne soit pas le seul responsable et que d'autres circonstances du milieu devront être invoquées : couvert, nature du mélange, microclimat spécial, vitesse de croissance, etc... La variété, la provenance des sujets ont-elles également une influence ? Ces différents facteurs extra-édaphi-

(*) Dont les activités sont inspirées par la F.A.O.

(**) Cette étude a fait l'objet d'un rapport remis en novembre à la Commission. Dans ce même rapport, MM. POSKIN et FLON ont traité de l'aspect écologique de la question ; M. ROOSEN, assistant au laboratoire forestier de Gembloux, a examiné le côté technologique.

ques peuvent seuls expliquer les cas « aberrants », où les caractères du sol ne semblent pas jouer un rôle déterminant dans l'apparition de la gélivure.

Mode Opératoire

Une trentaine de plantations réparties depuis la Campine et le Tournaisis jusqu'en Famenne ont été examinées, afin d'englober ainsi les conditions écologiques les plus diverses à l'échelle du moins de notre pays. La plupart de ces plantations présentaient des aires très atteintes par la gélivure, d'autres indemnes ou presque.

Dans chacune de ces aires, plusieurs relevés pédologiques ont été exécutés. On a noté les caractéristiques principales du sol qu'il est possible d'évaluer directement sur le terrain, comme sa profondeur, la présence d'une nappe phréatique permanente ou temporaire, sa perméabilité, sa structure, son pH, sa texture. D'autre part, comme il nous était matériellement impossible de procéder dans chaque plantation à des comptages d'arbres gélivés, nous avons dû nous contenter de pourcentages assez approximatifs sur la foi de rapides reconnaissances, et surtout des indications des propriétaires, que nous remercions encore de leur collaboration précieuse.

Nous avons ensuite groupé les observations en 4 classes, suivant la fréquence ainsi évaluée de la gélivure :

1re classe : pas ou très faible pourcentage de gélivure ;
2me classe : jusque 20 % d'arbres gélivés ;
3me classe : de 20 à 70 % ;
4me classe : plus de 70 %.

Les pourcentages évalués de sujets atteints dans chaque cas particulier ne pouvant être rigoureusement exacts, il eût été vain de vouloir distinguer des classes plus nombreuses et plus étroites.

Groupant ensuite les observations en fonction de chacun des caractères du sol, nous avons étudié les variations de la fréquence moyenne de la gélivure ; chacun des cas particuliers étant caractérisé par une valeur égale à celle de la médiane de la classe à laquelle il appartient.

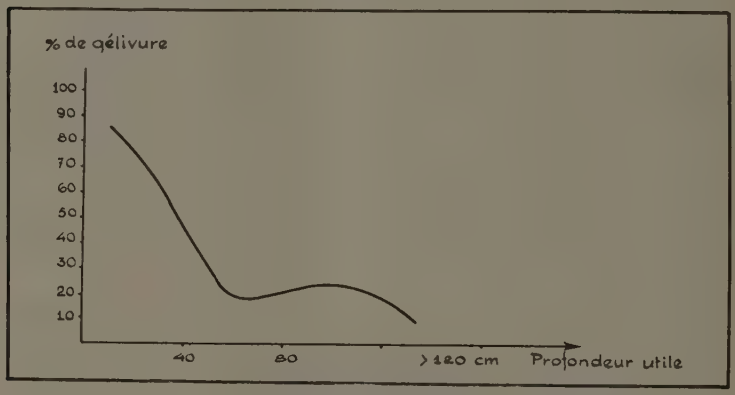
INFLUENCE DE LA PROFONDEUR UTILE DU SOL SUR L'APPARITION DE LA GELIVURE

Ainsi pour l'analyse de l'influence de la profondeur utile du sol sur l'apparition de la gélivure, les observations ont été groupées en 4 catégories de profondeur : moins de 40 cm, de 40 à 80 cm, de 80 à 120 cm et plus de 120 cm. Pour chacune de ces catégories, on calcule facilement la fréquence moyenne de la gélivure, en divisant la somme des fréquences attribuées à chacun des cas particuliers par le nombre de cas observés.

Par profondeur utile, on comprend la couche de terre meuble dans laquelle le système radiculaire est sensé pouvoir se développer sans obstacle sérieux. Cette couche peut être limitée vers le bas par :

— un dépôt compact et impénétrable aux racines et bien souvent à l'eau, par exemple de l'argile d'altération de schistes, une roche dure et peu fissurée, etc...

— la nappe phréatique permanente.



GRAPHIQUE 1

Fréquence de la Gélivure en fonction de la profondeur utile de sol

Dans le graphique 1, ces deux cas de limitation du système radiculaire n'ont pas été séparés. L'interprétation de ce graphique suggère que :

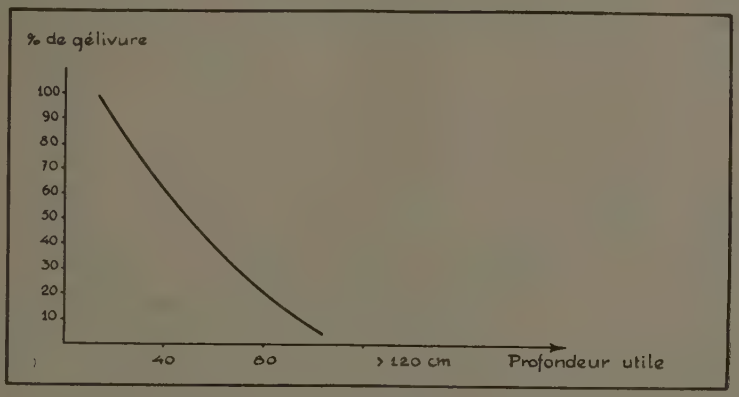
— une épaisseur de sol inférieure à 40 cm n'est pas suffisante pour le peuplier, surtout si le facteur limitant le développement radiculaire en profondeur est une couche impénétrable. La fréquence de la gélivure diminue très fortement quand la profondeur utile atteint 60 cm. Ceci implique la nécessité de travaux de drainage par fossés à ciel ouvert, de façon à contrôler le niveau de la nappe des sols marécageux en la maintenant aux environs de 60 cm de profondeur.

— entre 60 et 120 cm, la fréquence de la gélivure reste à peu près constante, pour diminuer sensiblement au-delà de cette profondeur. Ce palier peut s'expliquer, car entre les profondeurs de 60 et 120 cm les deux facteurs limitatifs cités, neutralisent plus ou moins leur action.

Les deux graphiques suivants, en effet, vont montrer que dans le cas d'une couche impénétrable aux racines, la fréquence de la gélivure diminue régulièrement au fur et à mesure que la profondeur de la

couche augmente, et ce jusqu'à plus de 100 cm; tandis que la fréquence minima de la gélivure coïncide avec une profondeur de 60 cm environ de la nappe phréatique. Il est donc nécessaire d'étudier séparément ces deux facteurs limitatifs de la profondeur utile du sol.

L'examen du graphique 2, où seul entre en considération le facteur couche compacte, montre une diminution continue et régulière de la fréquence de la gélivure avec l'augmentation de la profondeur utile du sol. Le seuil à partir duquel le facteur ne semble plus jouer un rôle déterminant dans l'apparition de la gélivure se situe aux environs de 1,00 m.



GRAPHIQUE 2

Fréquence de la Gélivure en fonction de la profondeur utile, la cause limitative étant une couche impénétrable aux racines

La présence d'une couche imperméable et sa profondeur dans le profil sont sans doute le facteur en corrélation la plus étroite avec la fréquence de la gélivure. L'allure du graphique 2 le montre bien.

Ainsi, il semble bien qu'une profondeur minima de 80 cm de sol meuble au-dessus de toute couche imperméable soit nécessaire au système radiculaire du peuplier si l'on veut éviter l'apparition très probable de la gélivure.

RELATION ENTRE LA FREQUENCE DE LA GELIVURE ET LES CARACTERES DE LA NAPPE PHREATIQUE

Le peuplier a la réputation d'être un grand consommateur d'eau. La profondeur et la constance de la nappe phréatique sont sans doute les plus importants parmi les caractères hydrologiques du sol, que l'on peut déceler sur le terrain avec une assez bonne approximation, grâce

à certains traits morphologiques du profil, groupés sous le nom de *gley* ou de *gleyification*. Ce phénomène est basé sur les transformations que subissent les composés du fer, suivant que le milieu est oxydant ou réducteur. Dans un sol bien aéré, jamais gorgé d'eau sur une partie importante de l'année, les composés du fer se trouvent à l'état ferrique. Ils donnent au sol une couleur uniformément brune (sous notre climat du moins).

Au contraire, le milieu asphyxique situé sous le niveau de la nappe phréatique permanente est souvent coloré en gris-bleu par des complexes ferro-organiques. Au-dessus de cette zone constamment saturée d'eau, il existe une épaisseur variable de sol, alternativement gorgée d'eau en hiver et sèche en été. Cette zone d'oscillations du niveau de la nappe phréatique est caractérisée du point de vue morphologique par une intrication de panachures grises et ocres plus ou moins fortement contrastées. Elles doivent leur apparition à des phénomènes de réduction et d'oxydation du fer, en relation avec de petites différences de perméabilité dans le sol et diverses actions microbiennes (*).

Cependant, les caractères de la nappe sont loin d'être toujours aussi régulièrement définis ; certains sols sont caractérisés par une *nappe phréatique temporaire* (**), c'est-à-dire que, peu perméables, ils se trouvent gorgés d'eau en saison humide et pour un laps de temps variant avec la vitesse d'infiltration des eaux, et surtout la situation topographique (pente ou replat) ; par contre, ils sont secs, parfois même excessivement, en été et en automne. Ce régime hydrique défavorable se traduit également par des panachures grises et ocres très contrastées surtout dans les limons éoliens. Mais dans ce cas, l'horizon gris-bleu de réduction indiquant le niveau de la nappe permanente n'est pas atteint avec notre sonde de 125 cm. Il est parfois situé à plus de 10 mètres de profondeur de sorte qu'il existe souvent une solution de continuité nette entre les eaux de la nappe phréatique temporaire et celles de la nappe permanente.

En conséquence, un sol à *nappe phréatique permanente* sera caractérisé par un horizon gris-bleu continuellement saturé d'eau (à moins de 125 cm de profondeur : profondeur généralement admise en ce qui concerne les influences sur le système radiculaire). Un sol à *nappe phréatique profonde* ne montre aucun phénomène de gleyification, la couleur reste brune. Par contre, une *nappe phréatique temporaire* se traduit par des panachures grises et ocres, mais l'horizon gris-bleu de réduction est absent (***).

Nous ne disposons que de deux observations relatives aux sols à nappe phréatique permanente à moins de 50 à 60 cm de profondeur.

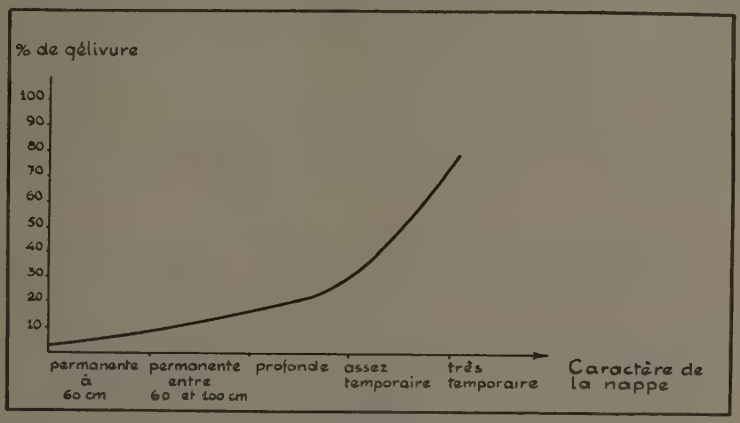
(*) BLOOMFIELD : Some Observations on Gleying. Journal of Soil Science. Vol. 1, n° 2, janv. 1950.

(**) E. MUCKENHAUSEN : Die Beurteilung des Faktors « Wasser » bei der bodenkundlichen Kartierung. — Forstarchiv. Déc. 54, pp. 269-273.

KUBIENA, W. : Böden Europas. — Madrid, 1953.

(***) Ces caractères n'ont pas la prétention d'être universels ; ils ont été employés dans ce travail et ne sont valables que pour lui.

Dans un cas, le pourcentage de gélivure était négligeable, dans l'autre il était proche de 50 %. Dans ce dernier cas, la texture du matériau alluvionnaire était très argileuse et capable de diminuer fortement le développement du système radiculaire. Sans vouloir tirer de conclusions définitives, il paraît probable que la présence d'une nappe phréatique permanente à moins de 50 cm de profondeur soit un facteur favorisant dans certains cas l'apparition de la gélivure.



GRAPHIQUE 3

Fréquence de la Gélivure en fonction des Caractères de la Nappe phréatique

Nous avons essayé de scinder les sols à nappe temporaire en deux catégories, en supputant le laps de temps pendant lequel le milieu reste gorgé d'eau. On a distingué d'abord les sols dans lesquels la nappe est présente sur la plus grande partie de l'année. Ces sols sont toujours plus ou moins frais. Dans la seconde catégorie, la nappe possède un caractère plus temporaire et le sol peut souffrir de la sécheresse estivale. Comme nous ne possédons pas de meilleur critère, ces deux catégories ont été séparées sur la base de la position topographique et de la roche-mère du profil ; la première occupe le fond de petits vallons, elle est souvent constituée par des dépôts limoneux apportés par les eaux de ruissellement (colluvions) ; la seconde occupe des plateaux et pentes, elle renferme des matériaux très divers.

La lecture de ce graphique montre que :

— la gélivure est la moins fréquente sur les sols à nappe phréatique permanente située aux environs de 60 cm de profondeur ; cependant quelques observations indiquent que, même dans le cas d'une nappe permanente à bonne profondeur, le peuplier ne supporte pas la présence d'une tourbe acide ou d'une couche imperméable à moins de 50 à 60 cm de profondeur ;

— la fréquence de la gélivure augmente très légèrement sur les sols à nappe phréatique permanente au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la profondeur optima de 60 cm. Cette augmentation est surtout sensible dans des matériaux faiblement capillaires (sables) ;

— le pourcentage d'arbres gélivés s'élève encore légèrement dans le cas d'une nappe phréatique profonde, puis sur les sols frais à nappe temporaire, situés dans les fonds de vallons. La courbe se relève ensuite brusquement jusqu'à une fréquence très élevée sur les sols de plateau à nappe temporaire, où du fait de la situation topographique, les alternatives de sécheresse et d'humidité sont les plus profondes.

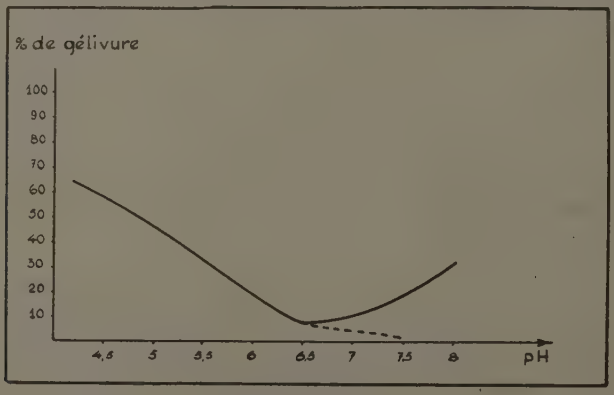
Il est de plus possible que dans ce dernier cas, les dégâts de la gélivure soient encore accentués par la concurrence d'autres essences ou d'un taillis. On doit donc conclure que le peuplier ne supporte pas de grandes variations de la teneur en eau du sol.

LA FREQUENCE DE LA GELIVURE ET LE PH DU SOL

Pour l'étude de l'influence du pH, les observations ont été groupées par unité de pH en 4 catégories : entre 4 et 5, 5 et 6, 6 et 7 et supérieur à 7.

Le pH du sol est pris sur le terrain par la méthode colorimétrique de Truog, suffisante pour la détermination à 0,5 unité près. Lors du groupement des observations, on a tenu compte des valeurs de pH entre 20 et 50 cm de profondeur.

Le graphique obtenu montre clairement que la fréquence de la gélivure, forte dans les sols très acides, diminue avec l'augmentation de



GRAPHIQUE 4

Fréquence de la Gélivure en fonction du pH du sol

pH, pour atteindre une valeur assez faible aux environs de la neutralité. Elle semble se relever à nouveau faiblement du côté alcalin. Il se pourrait cependant que cette élévation soit due à une cause accidentelle ; en effet, parmi les quelque vingt observations possédant un pH supérieur à 7, trois d'entre elles, caractérisées par des sols très superficiels (40 à 50 cm) présentaient une fréquence de gélivure supérieure à 90 %.

Il est probable que dans ces cas, le facteur déterminant l'apparition de la gélivure soit le caractère superficiel du sol et non le pH. Ces trois cas assez spéciaux suffisent à augmenter sensiblement la fréquence moyenne de la gélivure dans la zone des pH alcalins ; car si l'on en fait abstraction dans le calcul, cette fréquence descend à 3 % seulement (au lieu de 15) et la courbe prend alors, du côté alcalin de l'échelle des pH, l'allure indiquée par le pointillé. D'ailleurs, nous avons observé que la présence de calcaire libre dans le sol est souvent favorable au bon comportement du peuplier.

Le pH du sol est donc un caractère très important en ce qui concerne l'apparition de la gélivure. Une plantation aura le plus de chances de prospérer dans la zone des pH supérieure à 6,5 et si possible à 7.

Il existe cependant des cas assez rares où la gélivure est absente dans un milieu à pH très acide, (entre 4 et 5) mais il semble alors indispensable que tous les autres caractères du sol soient à leur optimum (profondeur, structure, perméabilité).

LA FREQUENCE DE LA GELIVURE ET LE DRAINAGE INTERNE DU SOL

La perméabilité du sol, caractérisée par la vitesse de percolation des eaux par unité de section, est une autre propriété importante du profil, qui exige pour chacun des horizons des mensurations délicates et répétées, car la perméablité d'un sol correspondra à celle de son horizon le moins perméable. Il ne nous était pas possible de nous y livrer dans le cadre des observations assez rapides mais d'autant plus nombreuses que nous avons exécutées.

Afin cependant, de donner une idée aussi approchée que possible de l'économie en eau des sols observés, nous avons examiné leur *drainage interne* (*) ; celui-ci caractérise la facilité ou la difficulté avec laquelle le sol « in situ » élimine tout excès d'eau. Le drainage interne peut être déterminé sur le terrain par l'examen de différentes particularités du profil parmi lesquelles la présence ou l'absence de gleyification et d'une couche imperméable, la structure, la texture et la profondeur sont les principales. Les sols à nappe phréatique permanente, présentant un cas tout à fait spécial pour le peuplier, n'ont pas été pris

(*) Soil Survey Staff : Soil Survey Manual. Washington, 1951 (page 168).

en considération ici. Les autres observations ont été groupées en quatre classes de drainage :

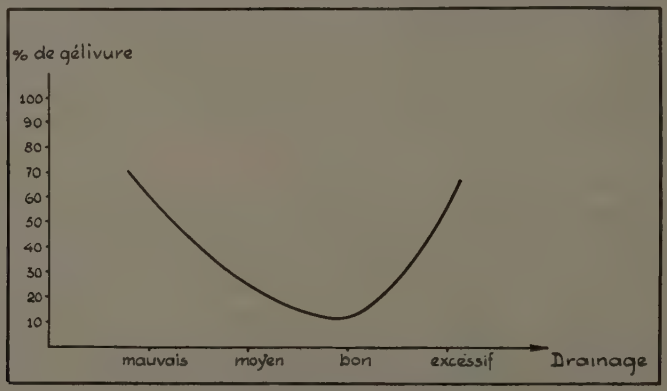
— *Sols à mauvais drainage :* Sols saturés d'eau sur une partie importante de l'année ; sont généralement gleyifiés jusqu'en surface. Ces profils renferment souvent un horizon ou une couche imperméable. Leur structure est compacte en profondeur. La texture est souvent argileuse.

— *Drainage médiocre à moyen :* Ces sols sont saturés d'eau durant une partie moins importante de l'année, (1-2 mois maximum). La gleyification est présente mais commence à une profondeur variant entre 50 et 80 cm. Un caractère assez commun de ces sols est une structure déficiente, presque compacte qui contribue fortement à ralentir la percolation des eaux. La texture est souvent limoneuse ou sablo-limoneuse.

— *Bon drainage :* La percolation des eaux est libre, sans être trop rapide ; la réserve d'eau du sol suffit à assurer une alimentation satisfaisante en eau, pendant un laps de temps important, de façon à résister à une période de sécheresse. Ces sols profonds sont dépourvus de traces visibles de gleyification. La structure y est bien développée, souvent polyédrique en profondeur. La texture est généralement limoneuse (limon-limon lourd).

— *Drainage excessif :* Le matériel, très filtrant, permet une trop rapide infiltration des eaux. Le sol n'est jamais saturé d'eau ; la texture est d'habitude grossière. Aucune trace de gleyification n'est visible.

Le graphique 5 schématise la fréquence de la gélivure en fonction du drainage du profil. La fréquence de la gélivure est la plus forte pour



GRAPHIQUE 5

Fréquence de la Gélivure en fonction du drainage interne du profil. (Les sols à nappe phrétatique permanente ont été exclus)

les sols à mauvais drainage, possédant souvent une couche imperméable à faible profondeur (Cfr. Gr. 2). Elle diminue pour le drainage moyen, tout en restant encore assez importante et atteint sa valeur minima dans les sols à bon drainage interne. Elle augmente ensuite très fortement dans les sols à drainage excessif pour y atteindre une valeur presqu'égale à celle observée dans les sols à mauvais drainage.

LA FREQUENCE DE LA GELIVURE ET LA TEXTURE DU SOL

La texture du sol ou si l'on préfère sa composition granulométrique est une propriété physique importante qui conditionne entre autres la perméabilité, la structure du sol ainsi que d'autres propriétés physico-chimiques dont la capacité de sorption n'est pas la moindre ; en effet, plus un sol sera « argileux », c'est-à-dire riche en fraction « colloïdale », plus il aura de chances de pouvoir retenir ou « sorber » les bases mono ou bivalentes (K, Ca, NH_4, ...) et de fournir ainsi un milieu nutritif bien pourvu. Par contre, plus la composition granulométrique sera riche en sable, c'est-à-dire en particules relativement grossières, composées de quartz surtout, plus le milieu sera naturellement pauvre.

L'évaluation de la texture étant faite sur le terrain, sur la foi du toucher, comme il est d'usage dans les travaux de cartographie, nous avons distingué seulement les grandes classes texturales (*) suivantes :

— les limons argileux et argiles, comprenant plus de 30 % d'argile granulométrique ($<2\mu$) et moins de 20 à 30 % de sables granulométriques ($>50\mu$) ;

— les limons : matériaux souvent loessiques très homogènes, comprenant jusque 30 % d'argile granulométrique et moins de 15 % de sable granulométrique ;

— les limons sableux, caractérisés par une teneur de 10 à 30 % d'argile granulométrique et 15 à 50 % de sable granulométrique ;

— les sables : matériaux très peu cohérents caractérisés, en moyenne, par plus de 90 % d'éléments d'un diamètre supérieur à 100 ou 200μ ;

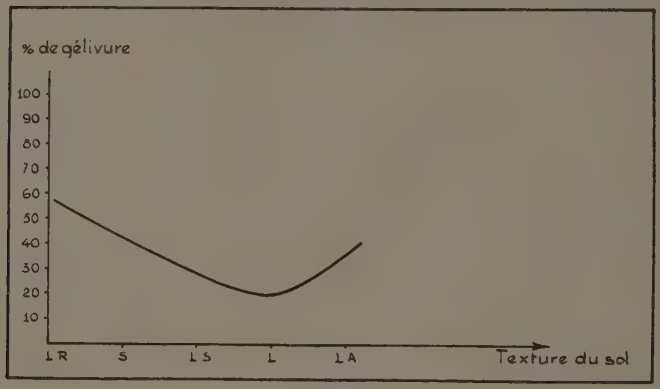
— les limons rocailleux, dans lesquels on trouve une proportion supérieure à 20 ou 30 % de cailloux ou graviers. Ces derniers sont souvent situés sur des pentes assez fortes, couvertes de dépôts superficiels. Ils paraissent très filtrants et sont d'autant plus pauvres qu'une plus grande part du matériau est occupée par des débris rocheux peu altérables.

Consultant le graphique 6, on constate que la fréquence de la gélivure est la plus forte sur les matériaux les plus grossiers et les plus

(*) Ces classes ne sont que des groupements valables pour ce travail seulement et destinées à le faciliter.

filtrants, mais qu'elle diminue régulièrement au fur et à mesure de l'enrichissement en particules fines pour atteindre un minimum sur les matériaux limoneux, (d'origine souvent loessique dans les observations).

La fréquence de la gélivure augmente à nouveau dans la classe argileuse. Ceci est dû au fait que les propriétés physiques d'un matériau argileux dépendent avant tout de sa structure. Si celle-ci est déficiente, le milieu devient compact et peu perméable, offrant alors un obstacle sérieux au développement radiculaire. Cette constatation est surtout valable pour certains résidus argileux d'altération de schistes de la Famenne ou des argiles tertiaires de la Basse-Belgique.



GRAPHIQUE 6

Répartition de la Gélivure en fonction de la texture du sol

LR = Limons rocailleux
S = Sables
LS = Limons sableux
L = Limons léger à lourds
LA = Limons argileux à Argiles

En conclusion, la texture optima d'un sol correspondant à la fréquence la moins forte de la gélivure, est la classe limoneuse. Les matériaux argileux sont excellents, à condition que la structure soit suffisante pour permettre un développement (voir profondeur utile) satisfaisant du système radiculaire. Les risques augmentent fortement dans les matériaux sableux. Là, il faudra exiger au moins une nappe permanente à bonne profondeur (60 cm) et un pH optimum (>6,5).

LA FREQUENCE DE LA GELIVURE ET LA STRUCTURE DU SOL

La structure, comme on l'entend couramment, est l'arrangement des particules élémentaires d'un sol en aggrégats plus ou moins stables aux influences extérieures.

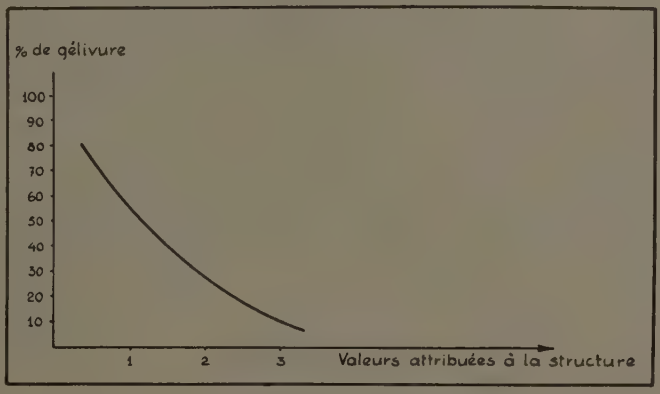
La caractérisation de la structure est une opération très délicate même en laboratoire. Il ne nous était pas possible lors d'observations sur le terrain de caractériser la structure d'un sol autrement que d'une façon très large ; c'est ce que nous avons tenté de faire, en groupant les sols en 3 grandes classes :

Classe 1 : sols sans structure visible. Ces derniers sont souvent des argiles compactes, des sables grossiers ou certains limons sableux ;

Classe 2 : sols à structure peu développée, ou à bonne structure sur une profondeur insuffisante ;

Classe 3 : sols à bonne structure sur une profondeur appréciable (60 à 80 cm au moins).

Le graphique 7 schématise la relation qui existe entre le degré de développement de la structure et la fréquence de la gélivure ; celle-ci est de loin la plus basse sur les sols bien structurés de la classe 3.



GRAPHIQUE 7

Fréquence de la Gélivure en fonction de la structure du sol

CONCLUSIONS

Bien qu'il n'ait pas été possible de procéder à chacune des observations avec une rigueur absolue, l'ensemble montre toutefois qu'il existe des relations entre les propriétés du sol et la fréquence de la gélivure et donne des enseignements précieux en ce qui concerne les circonstances favorisant son apparition (*). Eu égard aux facteurs édaphiques, la haute fréquence de la gélivure est en relation avec :

(*) Ces conclusions sont seulement valables pour le climat belge jusqu'à plus ample information.

— la présence d'une couche imperméable ou d'un dépôt assez épais de tourbe acide à faible profondeur, ou d'une nappe phréatique permanente à moins de 40 à 50 cm ;

— une économie en eau irrégulière du sol ; les sols de plateau à nappe phréatique temporaire sont spécialement contre-indiqués ;

— un pH très acide ;

— un drainage interne trop lent ou au contraire trop rapide du profil, dans le cas du moins des sols à nappe phréatique temporaire ou profonde ;

— une structure déficiente du sol, avec comme corollaires une perméabilité lente et un manque d'aération ;

— la présence dans le sol d'un fort pourcentage de débris rocheux peu altérés ;

— des terrains trop sableux à moins qu'ils ne soient spécialement humifères, à pH neutre ou peu acide et pourvus d'une nappe phréatique permanente à faible profondeur. Sur les sols limoneux loessiques à nappe phréatique profonde, il semble que le peuplier exige un pH très légèrement acide, ou mieux neutre ou alcalin (au moins 6). La gélivure peut y atteindre une fréquence élevée lorsque ce matériau est très acide (pH 4 à 5), surtout lorsque le peuplier est en compétition avec d'autres essences.

La gélivure est absente ou peu fréquente sur :

— les dépôts souvent alluvionnaires, limoneux ou argileux bien structurés, peu acides ou alcalins, où la nappe phréatique permanente apparaît aux environs de 60 cm de profondeur. Ces terrains peuvent être temporairement inondés en hiver sans que le peuplier paraisse en souffrir. A l'état naturel, le peuplier est d'ailleurs une essence pionnier dans la colonisation de ces terrains alluvionnaires ;

— les dépôts de colluvions récentes des vallons secondaires à pH neutre ou alcalin et toujours frais ;

— en général, sur tous les sols profonds peu acides, capables d'assurer une alimentation régulière en eau.

Ces conditions sont d'ailleurs celles qui paraissent convenir le mieux à la croissance du peuplier noir en Belgique.

Il est important de souligner que les conclusions qui précèdent ont été confirmées par l'analyse statistique (*) des résultats : Le test χ^2 d'indépendance appliqué à tous les couples : gélivure-pH, gélivure-nappe phréatique, etc... conduit au rejet de l'hypothèse d'indépendance entre la gélivure et les différents facteurs considérés. Mais l'intensité de cette dépendance varie avec les facteurs, elle est maximum pour la profondeur utile et minimum pour la texture.

(*) L'analyse statistique a été effectuée par M. P. DEMUNTER, Assistant à la Chaire de Mathématiques de l'Institut Agronomique.

Il est nécessaire de souligner encore que ces conclusions ne peuvent être appliquées d'une façon trop rigoureuse car, nous avons constaté des exceptions à ces règles, dues sans doute à l'action de facteurs extra-édaphiques. Car, si le sol apparaît, logiquement dans le cas présent comme un des facteurs principaux du milieu, il ne faudrait pas sous-estimer l'importance d'autres facteurs d'ordre microclimatique ou sylvicole, qui doivent être responsables de cas inexplicables par l'argument pédologique.

De l'ensemble de cette étude, on retirera l'impression que le peuplier euraméricain est une essence qui manifeste des exigences précises en ce qui concerne le sol. Les méconnaître serait aller délibérément au devant de graves mécomptes.

Février 1954.

RESUME

L'auteur examine l'influence des principaux caractères du sol sur la fréquence de l'apparition de la gélivure du peuplier euraméricain.

La profondeur utile du sol au système radiculaire semble être un des facteurs les plus importants ; il faut au moins 80 à 100 cm de sol meuble au-dessus de toute couche impénétrable aux racines. La profondeur optima de la nappe phréatique permanente est de 60 cm. Les sols à nappe phréatique temporaire caractérisés par une économie en eau très irrégulière, les sols à drainage interne trop rapide ou trop lent, les sols à pH très acide, sont favorables à l'apparition de la gélivure. Le sol doit posséder une rétention suffisante pour l'eau, une bonne structure et une bonne aération. Le peuplier préfère les sols limoneux.

SAMENVATTING

De auteur bespreekt de invloed van de voornaamste bodemkenmerken op de frequentie van het voorkomen van vorstspleten bij populieren.

Een van de voornaamste factoren, waarmede de vorstschade aan populieren verband houdt, is wel de diepte tot waar zich het wortelstelsel kan ontwikkelen. Bodems die tenminste tot op 80 cm goed doorwortelbaar zijn, gedragen zich het gunstigtst, terwijl een niet voor de wortels doordringbare laag op minder dan 80 cm diepte duidelijk een ongunstig effect geeft.

De optimale diepte van de permanente grondwaterspiegel is ongeveer 60 cm. Populieren op gronden met een onregelmatige waterhuishouding (zg. « Staunasse » of stuwwatergronden), op sterk- of weinig doorlatende gronden of op zeer zure gronden vertonen het verschijnsel van vorstschade in relatief sterke mate.

De bodem moet een voldoend grote waterhoudende capaciteit bezitten evenals een goede structuur en een goede doorluchting.

Verder kan worden opgemerkt dat de populier het best groeit op gronden met een lemige textuur.

SUMMARY

The author examines the influence of the main soil characteristics on the frequency of the frostcracking of black poplar.

Soil depth, within wich roots can freely develop, seems to be one of the most important characteristics : the frequency of the phenomenon is very high on shallow soils and regularly diminishes with the increase of soil depth (up to 3 or 4 ft).

A temporary watertable, a very irregular watercontent, a too rapid or too slow internal drainage, a low pH are soil properties favouring the frostcracking.

On the other hand, the frequency is generally very low on soils with permanent watertable at about two feet or on soils with adequate waterholding capacity, good structure and aeration, and loamy texture.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Autor untersucht den Einfluss der hauptsächlichen Eigenschaften des Bodens auf die Häufigkeit des Auftretens der Frostrisse bei der euro-amerikanischen Pappel.

Die für das Wurzelsystem nutzbare Bodentiefe scheint einer der wichtigsten Faktoren zu sein ; die Wurzeln benötigen mindestens 80 bis 100 cm lockeren Boden über jeglicher undurchlässigen Schicht. Die beste Tiefe des ständigen Wasserspiegels liegt bei 60 cm. Diejenigen Böden, deren Wasserspiegel sich durch einen zeitweilig ungleichmässigen Wasserspiegel auszeichnen, deren innerer Wasserablauf zu langsam oder zu schnell vor sich geht, deren pH-Wert sehr sauer ist, begünstigen das Auftreten von Frostrissen.

Der Boden muss ein genügendes Wasserstauvermögen, eine gute Struktur und eine gute Durchlüftung aufweisen.

Die Pappel bevorzugt einen lehmigen Boden.

ECONOMIE FORESTIERE
SYLVICULTURE DES REGIONS TROPICALES

Des facteurs régissant, sous les tropiques, la répartition des formations forestières (*)

par

R. THOMAS

Les considérations succinctes qui suivent, à peu près valables, pensons-nous, pour l'ensemble des régions sises entre les deux tropiques, s'appliquent plus spécialement aux formations forestières du Congo Belge, mieux connues de nous et soumises, selon leur situation, à l'une ou l'autre forme — typique ou intermédiaire — ressortissant à l'un des deux grands climats, soit équatorial, soit tropical, du centre africain.

Parmi les principaux facteurs dont question, nous considérerons, d'une part ceux qui sont les causes initiales, déterminantes de la répartition des formations — ce sont les facteurs d'ordre *écologique* — et, d'autre part, ce qui n'a qu'une action ultérieure, modificatrice de la répartition préexistante, à savoir les facteurs d'ordre *biotique*.

Le taux de boisement suffisant ou insuffisant d'un pays n'est que la résultante des actions combinées de tous ces facteurs.

I — CAUSES INITIALES ou FACTEURS ECOLOGIQUES

A — Facteur climatique

Entre les divers facteurs écologiques, ceux dont l'effet paraît bien être prépondérant en matière de répartition des formations à végétation arborescente ce sont les facteurs écoclimatiques et, parmi ces derniers, celui dont l'action se révèle la plus marquée c'est, à notre sens, l'eau météorique ; il s'agit des précipitations, dans lesquelles nous devons

(*) Déposé à la réadction le 18 avril 1955.

distinguer les précipitations mesurables, c'est-à-dire ici presque uniquement les pluies et les précipitations dites occultes, qui sont les rosées et brouillards.

a) LA PLUVIOSITE :

Elle agit à la fois par la distribution plus ou moins régulière et par la quantité absolue des précipitations aqueuses.

1°) la distribution des pluies au cours de l'année est surtout importante et, semble-t-il, vraiment déterminante, car, pour prendre l'exemple du Congo Belge, si partout le total des précipitations annuelles est suffisant — sauf intervention supplémentaire d'autres phénomènes — pour permettre l'existence de la végétation ligneuse (indice annuel d'aridité partout supérieur à 20) le nombre des mois écologiquement secs y peut varier de 0 à 7, entraînant une modification correspondante du type des formations forestières et de leurs variantes écoclimatiques : du type dense humide, elles tendront progressivement vers le type clair sec, en passant par les types intermédiaires successifs, avec accentuation d'une tendance de plus en plus marquée à l'évolution régressive.

Mentionnons aussi, incidemment, qu'à nombre égal de mois écologiquement non secs (chute mensuelle supérieure à 50 mm) les formations forestières s'accommodent mieux d'un climat à deux maxima et deux minima pluvieux que d'un climat à maximum et minimum uniques.

2°) la quantité absolue de pluie, c'est-à-dire le total annuel des précipitations — pour autant que les exigences quantitatives minima soient satisfaites — importe relativement moins que la régularité de leur distribution. Certes, il existe entre la régularité et l'abondance des pluies une certaine relation obligée qui nous paraît corroborée par les moyennes ci-après de onze stations sises dans la forêt dense ombrophile de basse altitude (mois écologiquement secs = 0 — précipitations annuelles = 1935 mm) et de treize stations sises en bordure de celle-ci (mois écologiquement secs = 2 — précipitations annuelles = 1711 mm.)

Néanmoins, on peut admettre que de deux climats à précipitations annuelles quantitativement équivalentes, le plus « forestier » est celui dont les pluies sont le plus uniformément distribuées.

La forêt réagit nettement à toute modification de la pluviosité et toute déforestation affectant le microclimat de la station de façon durable, entraîne l'apparition d'une végétation de remplacement caractérisant un climat plus sec. Ainsi, le caractère rélictuel des pieds d'*Entandrophragma Delevoyi*, De Wild., de plus en plus rares et sporadiques à mesure que, du Bas-Katanga, on pénètre dans le Haut-Katanga, s'explique vraisemblablement par le desséchement progressif de stations jadis à pluviosité plus conforme aux exigences d'un genre essentiellement ombrophile.

Là où abondance et bonne distribution des pluies se trouvent réunies — par exemple dans la cuvette centrale congolaise — se rencontre normalement leur climax, la forêt dense ombrophile, sous laquelle l'air accuse d'ailleurs un degré hygrométrique particulièrement élevé.

Quant aux précipitations occultes, en maintes situations elles constituent un appoint d'humidité qu'on a tout lieu de supposer non négligeable et souvent plus important qu'on le pense, témoins les rosées fréquentes et copieuses des régions boisées d'altitude et aussi les brouillards de saison sèche bien connus dans le massif forestier du Mayumbe, lesquels y seraient peut-être le correctif nécessaire d'un indice annuel d'aridité moins favorable (± 36) que celui du Bas-Congo (± 38) pourtant presque entièrement déboisé.

En liaison avec certains régimes de pluviosité comportant une période de sécheresse suffisamment marquée, il y a lieu de mentionner les feux courants spontanés — les autres ressortissent au facteur anthropique, bien qu'eux aussi favorisés par la sécheresse — feux irréguliers, fréquents par endroits, généralement allumés par la foudre et qu'on peut rattacher aux phénomènes climatiques. Moins nettement que les feux non spontanés, ils peuvent aider à l'évolution régressive et faire apparaître une flore d'essences pyrorésistantes (*Erythrina*, *Entadopsis*, *Hymenocardia*, etc.) de peu d'intérêt sylvicole.

b) LA TEMPERATURE :

Hormis aux très hautes altitudes — au-delà de 4000 m sous l'équateur — la température est, dans notre Colonie, toujours suffisamment élevée pour ne pas affecter l'existence même de la végétation forestière et, par conséquent, n'y est pas un facteur limitant la répartition de ses diverses formations.

Ainsi, prenons au Kivu le cas du Mont Kahuzi : latitude environ 2°15' Sud — altitude 3.308 m — température annuelle moyenne 8°C — total des précipitations annuelles 1630 mm (comme vers 1950 m à l'étage moyen de la forêt dense ombrophile de montagne sous-jacente) — sommet battu par les vents (surtout par l'alizé Sud-Est, vent diurne presque continu en saison sèche) dépourvu de végétation arborescente et couvert d'un tapis de graminées basses ; ni la température, ni la pluviosité ne semblent, pensons-nous, pouvoir y être rendues responsables de cette absence de toute végétation ligneuse, absence qui nous paraît très probablement due à la persistance du vent avec ses conséquences habituelles, entre autres l'excès d'évaporation et de transpiration.

Si donc, au Congo, les conditions de température ne sont que bien rarement, presque jamais même, une cause initiale d'absence de formations forestières, par contre elles peuvent expliquer, partiellement tout au moins, certaines variations du type des peuplements : ainsi la forêt ombrophile de moyenne altitude, dite de transition, est considérée

comme la variante orophile de la forêt dense ombrophile de basse altitude ; d'autre part, faisant suite vers le haut à cette forêt de transition, il y a la forêt ombrophile de haute altitude ou de montagne comprenant diverses essences mésothermes, dont certaines d'ailleurs sont déjà présentes dans la forêt de transition.

L'influence de la température est d'ailleurs toujours bien moins marquée que celle de l'humidité ambiante car, sous les tropiques, la forêt paraît assez peu sensible aux variations thermiques et, pour autant que l'on puisse se baser sur le seul critère assez sommaire de l'altitude, ceci nous semble résulter, entre autres exemples, de celui du Congo Belge où l'on rencontre la forêt depuis moins de 100 m (près de la côte atlantique) jusque 2400 m, voire par endroits jusque 2600 m d'altitude. D'ailleurs, entre les cotes 1000, 1600/1700 et 2400 m qui sont respectivement, pensons-nous, les limites altitudinales supérieures des forêts denses ombrophiles de basse, moyenne et haute altitudes, il n'existe pas de différences vraiment fondamentales entre ces forêts toutes trois denses et ombrophiles dont la médiane n'est, répétons-le, qu'un type intermédiaire, de limites peu distinctes, entre les deux formations sous et sus-jacentes.

Notons aussi que l'altitude, qui influence la température (1°C par 180 m d'altitude) peut agir aussi sur la pluviosité (niveau des précipitations maxima vers 2400 m sur la dorsale du Kivu p. ex. et pluies de relief sur tous les hauts versants exposés aux courants humides) et, partant, n'être pas sans action sur la répartition des formations forestières.

D'autre part, les courants atmosphériques, par leur effet humidifiant ou desséchant, ont une influence plus marquée encore et parfois prépondérante, soit sur l'existence même des formations, soit sur leur type ; à cet égard citons, notamment, l'exemple de la côte orientale de Madagascar, au vent humide de l'Océan Indien, plus et différemment boisée que la côte occidentale ; de même les couloirs de « foehn » dont les essences sclérophylles tranchent sur la végétation avoisinante de la forêt ombrophile de la dorsale du Kivu.

Une autre conséquence des courants aériens est la dissémination, plus ou moins proche ou lointaine, des essences anémochores selon l'époque, l'orientation, la force et la persistance du vent, ainsi que selon le type et la légèreté relative des fruits (*Terminalia*, *Pterocarpus*, etc.) et graines (*Bignoniacées* diverses) ailés ou à aigrettes soyeuses (*Alstonia*, *Funtumia*, etc.). L'anémochorie exerce donc sur la dispersion et la régénération naturelle des essences forestières en cause une action généralement favorable, mais parfois exagérément marquée sur la composition spécifique de certains peuplements où les espèces envahissantes tendent à prédominer.

B — Facteur édaphique

Contrairement au facteur climatique, le facteur édaphique n'intervient le plus souvent qu'assez accessoirement comme cause initiale de répartition des formations forestières, lesquelles, sous réserve d'une pluviosité suffisante, ne voient qu'assez rarement leur existence empêchée pour des motifs de cet ordre. On en trouve cependant un exemple typique au Kwango où, selon P. Duvigneaud, sous une même latitude et sous un même climat, c'est la nature du sol qui détermine la végétation : les sables du Kalahari secs et pauvres n'y portent que de la forêt claire, voire de la steppe, tandis que les sols rouges du Karroo, plus frais et fertiles, portent la forêt à ombrophytes ou sa savane de dégradation. Néanmoins, ces causes inhibitives d'ordre édaphique ont en général un caractère plutôt local ou exceptionnel et proviennent surtout, pensons-nous, de déficiences de structure, de défectuosités de l'état physique du sol et du sous-sol provoquant dans l'apport d'eau, soit insuffisance (forêts basses sur laves récentes (*) etc.), soit excès temporaire (Haut-Katanga, plateaux herbeux et petits dembos inondés en saison des pluies seulement) ou permanent (marais à *Cypéracées* de diverses régions congolaises, grands dembos du Haut-Katanga et sphaignes tourbeuses des hauts plateaux katangais et de certains volcans).

Pourtant il arrive que, sauf modification plus ou moins profondes du type de peuplement, l'imbibition plus ou moins complète, permanente ou périodique, du sol par l'eau n'entrave pas la présence des formations arborescentes, notamment parce que cette eau complémentaire édaphique peut parfois corriger une insuffisance plutôt temporaire d'eau météorique ; nous en trouvons des exemples dans les galeries forestières qui, n'était la composition spécifique progressivement modifiée, entre autres par les changements de latitude et de climat (cas des

(*) Ces formations forestières basses et sclérophylles ont colonisé des coulées de laves encore assez récentes (p. ex. celles du volcan Nyamuragira au Kivu) substrat poreux à économie d'eau très défectueuse.

A propos des dites formations, signalons en passant une erreur d'appellation rencontrée récemment ; elles étaient dénommées forêts « vulcanogènes » ce qui, vu la signification du suffixe « gène » (= qui engendre) revient à dire forêts « qui engendrent des volcans » et constitue un non-sens évident.

Le terme correct à proposer serait, selon nous, le néologisme assez simple et pas trop barbare « vulcanogénètes » (engendrées, produites par les volcans).

Nous avons rencontré ailleurs les expressions aussi erronées : formations « zoogènes », « anthropogènes », « pyrogènes », etc. ; pour les deux premières, les termes corrects respectifs devraient être, comme ci-dessus, «zoogénètes» et «anthropogénètes». Quant à la troisième expression, les deux termes lui sont applicables, car semblables formations sont souvent à la fois « pyrogénètes » et « pyrogènes » : « pyrogénètes » au sens le plus courant, parce qu'engendrées par l'action transformatrice régressive des feux périodiques sur une formation (forestière p. ex.) antérieurement non soumise à cette action ; « pyrogènes » aussi, parce que ces feux périodiques trouvent un aliment dans la présence concomitante d'une couverture plus ou moins épaisse de plantes herbacées, voire subligneuses, hautement combustibles à la fin de la saison sèche, couverture dominée, ou non, par un étage plus ou moins clair d'espèces ligneuses pyrorésistantes (cas de diverses savanes anthropiques congolaises et notamment de la plupart des savanes boisées du Haut-Katanga).

affluents du Kasaï coulant du Sud au Nord), pourraient apparaître comme les prolongements de la forêt dense centre-congolaise ; elles en maintiennent le caractère dense plus ou moins ombrophile grâce à l'eau imprégnant les deux rives.

— dans la mangrove de l'estuaire du fleuve Congo, formation halophile arborescente assez basse et peu étendue, adaptée aux vases mobiles saumâtres ; il en est de plus étendues en d'autres régions tropicales, d'Afrique notamment.

— dans les boqueteaux à *Syzygium* des têtes de sources des rivières sur les hauts plateaux herbeux du Katanga.

Ajoutons que, suivant que les facultés d'absorption et de rétention du sol seront suffisantes ou non vis-à-vis de l'eau météorique, le facteur édaphique pourra corriger ou aggraver les déficiences éventuelles du facteur climatique, en l'espèce la pluviosité.

Quant aux formations établies sur terrains humides, forêts périodiquement inondées et forêts marécageuses (p. ex. de la région du confluent Congo-Ubangi) où la pluviosité est à elle seule déjà suffisante pour justifier le caractère nettement ombrophile de telles formations, cette humidité édaphique supplémentaire n'amène guère qu'une variation du type normal qui est la forêt ombrophytique hétérogène de terre ferme, variation se traduisant, chez les premières, surtout par le nombre élevé d'espèces hydrophiles particulières à cet habitat et, chez les secondes, par l'apparition d'hélophytes (à racines échasses et racines respiratoires aériennes) spécialement adaptés.

Les diverses formations susmentionnées comprennent un nombre variable selon les situations, d'espèces hydrochores (*Rhizophora, Avicennia, Mitragyna,* etc.).

En état d'équilibre biologique, la forêt n'est nullement un produit du sol, comme certains le croient à tort et l'on voit des terrains présumés fertiles en raison de la belle forêt qui les couvrait — tels maints peuplements de *Gilbertiodendron Dewevrei* — perdre rapidement, par défrichement et mise en culture, cette soi-disant fertilité issue de la forêt et disparaissant avec elle ; ce qui prouve, en outre, que la couverture forestière est la couverture idéale des sols tropicaux.

C'est dire que si, en matière de formations forestières primitives, le facteur édaphique n'a, en général, qu'un rôle plutôt accessoire, par contre, lorsqu'il s'agit des formations secondaires en état de déséquilibre plus ou moins marqué, ce même facteur édaphique acquiert une importance primordiale puisque, conjointement avec la régularité des précipitations, c'est de lui que dépendra le sens, progressif et plus souvent régressif, de leur évolution et, en définitive, les réactions plus ou moins vigoureuses de la forêt contre tout ce qui favorise son recul et amène la savanisation sous ses diverses formes (cas des vastes savanes à *Imperata cylindrica* s'installant définitivement sur des défrichements forestiers épuisés par des cultures ininterrompues).

Dans une étude antérieure (*), soulignant déjà le caractère prépondérant du facteur climatique dans la répartition initiale des formations forestières primitives, nous indiquions aussi le facteur anthropique comme l'agent le plus actif et le plus fréquent du recul de la forêt au profit des formations secondaires. Telle est encore notre opinion, ainsi que cela découle de ce que nous écrivons ci-avant ; mais en matière d'évolution régressive, nous inclinons de plus en plus à penser que le facteur anthropique, tout prépondérant qu'il est habituellement, ne doit être qu'exceptionnellement le *seul* en cause, car son action se voit généralement favorisée par une influence prédisposante d'ordre climatique ou édaphique, ou encore des deux conjugués, puisque le climat intervient dans le processus de formation et d'évolution des sols.

Assez rares probablement seront, pensons-nous, les cas d'évolution régressive où l'un ou l'autre de ces trois facteurs se révélera totalement absent et nous croyons être plus près de la vérité en considérant qu'ils seront souvent présents tous trois, ne différant entre eux dans leur action que par le degré d'importance de celle-ci.

Supposons, par exemple, une savane où la seule manifestation visible de l'action anthropique soit le passage plus ou moins fréquent et régulier des feux courants ; il faudra que ces feux soient indiscutablement spontanés pour qu'une telle savane ne doive son origine qu'aux deux seuls facteurs climatique et édaphique, l'influence plus ou moins grande de chacun d'eux étant à évaluer.

Ainsi, certains auteurs qualifient d'édapho-anthropiques les « forêts-parcs et savanes guinéennes » et d'édapho-climatiques les « forêts-parcs et savanes méridionales » qu'ils situent, les premières au Nord, les secondes au Sud de la grande forêt ombrophile centre-congolaise ; on ne peut pourtant nier que la plupart de celles-ci, du fait de feux courants non spontanés presque annuels, sont aussi plus ou moins anthropiques et que celles-là, en raison d'une pluviosité déjà intermittente, sont aussi quelque peu climatiques. Du moins est-ce dans ce sens que nous comprenons ces qualifications et nous pensons donc que la plupart des phénomènes de savanisation sont la résultante de l'action combinée des trois facteurs dont, suivant les situations, les parts respectives varient en importance selon l'intensité, voire l'ancienneté, de leur intervention.

II — CAUSES MODIFICATRICES DE LA REPARTITION ANTERIEURE

On doit entendre par là l'ensemble des *facteurs biotiques* du milieu, d'où se détache d'abord et très nettement une cause majeure, l'homme, entre quelques autres somme toute relativement accessoires ; sans conteste, l'homme est le grand responsable du déboisement avec ses désastreux effets de tous ordres.

(*) R. THOMAS : Essai de classement des formations congolaises à végétation arborescente d'après le groupement de leurs indices mensuels d'aridité. — Bull. Agr. Congo Belge, Vol. XVI, 1950, n° 2.

A — Cause principale — le facteur anthropique

Il faudrait plutôt écrire *facteur anthropozoïque*, indiquant ainsi que l'action des animaux domestiques, qui sera examinée plus loin, ne peut être disjointe de celle qui est propre à l'homme dont elle n'est qu'un des aspects et la conséquence même.

L'habitant des régions boisées tropicales, responsable du recul de la forêt, n'a en vue que la satisfaction de ses besoins de produits végétaux et animaux que lui procure l'usage des arbres et du terrain qui les porte.

Selon les lieux et circonstances, cet usage sera, tantôt important, prolongé et gros de conséquences pour la forêt, tantôt modeste, même accidentel et sans répercussions marquées comme, par exemple, la cueillette qui, chez les peuplades forestières primitives, est de pratique immémoriale, mais est encore assez courante ou occasionnelle chez d'autres populations indigènes forestières.

La cueillette leur fournit, outre certains produits animaux (miel, insectes comestibles, etc.) divers organes ou produits végétaux spontanés, notamment les fruits et graines oléagineux ou comestibles de plusieurs essences forestières (*Ongokea, Lebrunia, Irvingia, Dacryodes* ou Safoutier, *Bosqueia, Coula,* voire *Elaeis* subspontanés) qu'on peut ainsi considérer, à juste titre, comme étant anthropochores, puisque l'homme, consommateur ou acheteur, favorise leur dissémination.

Quant à l'usage qu'elles font, tant du bois que des terrains forestiers, il importe de bien distinguer entre la population noire d'établissement plus ou moins ancien au Congo et celle, encore relativement peu nombreuse et d'arrivée récente, de race surtout européenne. Pour plus de facilité, la première sera dénommée ici « les Noirs », la seconde, « les Blancs ».

α) LE BOIS

a) *Pour les Noirs :* dans leur tribu, l'emploi du bois se ramène au ramassage du combustible domestique (bois mort, chablis ou abattis antérieurs) à la coupe des perches et rondins indispensables à l'édification périodique des cases, greniers et enclos familiaux, à l'abattage des arbres pour la confection des pirogues et meubles, ustensiles, outils, armes rudimentaires ; emploi assez restreint en soi, mais combien répété et provoquant aussi beaucoup de gaspillage et de dégâts aux peuplements subissant une sélection à rebours, donc une diminution de valeur qualitative, surtout si nous y ajoutons ceux qu'entraînent les exploitations sporadiques difficilement contrôlables des bûcherons et scieurs indigènes produisant combustible et sciages pour leur usage, mais plus souvent pour être cédés à des tiers européens munis de licences d'achat.

Pour les Noirs détribalisés, comme leurs agglomérations, parfois fort peuplées, ont généralement pris naissance près des centre européens,

leurs besoins de bois de feu et d'œuvre ne sont que la conséquence de la présence de ceux-ci, dont ils aggravent d'ailleurs les difficiles problèmes d'approvisionnement et, partant, de déboisement.

b) *Pour les Blancs :* leurs besoins de bois divers sont assurés par un approvisionnement local, régional ou interrégional : achats sous licences précités, livraisons d'exploitants réguliers (titulaires de permis de coupe) ou temporaires (récupérations sur défrichements agricoles), exploitations de tous genres produisant du bois de feu domestique, artisanal et industriel (usines, mines, transports fluviaux et ferroviaires, etc.) ou du bois d'œuvre à consommer dans la Colonie ou à exporter.

L'ensemble représente une très importante production et correspond à une superficie exploitée assez étendue, en progression constante, mais fort irrégulièrement répartie selon les besoins et à la faveur de voies d'évacuation et massifs exploitables économiquement utilisables. Il en résulte aussi une extrême diversité de buts (bois de feu ou d'œuvre), de formes (exploitations à l'entreprise ou en régie, par sociétés ou particuliers), de méthodes (abattage de pieds isolés de certaines essences ou, encore bien rarement, coupe systématique de proche en proche de la majorité des arbres non réservés) et aussi de moyens techniques, depuis les simples cognées et scies de long jusqu'aux importantes et coûteuses installations d'exploitation, de vidange, de débit et de conditionnement varié tirant parti des bois les plus différents.

Cette diversité entraîne d'ailleurs une variation correspondante des surfaces livrées à l'exploitation et une non moins grande variation dans l'intensité des dommages subis par la forêt, encore que l'existence même de celle-ci ne soit qu'exceptionnellement mise en jeu. En général cependant, on constate une tendance, variable selon les régions, à de moindres dégâts d'exploitation et à une utilisation moins irrationnelle de la matière ligneuse qu'on peut attribuer à la mise en vigueur de la nouvelle politique forestière, à un contrôle plus efficace, ainsi qu'à l'éloignement progressif des lieux d'approvisionnement entraînant le relèvement des prix de revient ; toutefois, on ne peut se dissimuler que bien des progrès restent encore à accomplir dans ce sens, ainsi qu'en matière de régénération naturelle et d'enrichissement artificiel des forêts.

β) LES TERRAINS FORESTIERS

Là ou l'action néfaste du facteur anthropique, ou anthropozoïque selon le cas, se révèle prépondérante, c'est dans l'usage et trop souvent l'abus, des vastes étendues de terres de culture, de pâture et de chasse que l'homme exige pour sa subsistance et dont bon nombre sont régulièrement prélevés sur la forêt.

1) *Terres de culture*

a) *Pour les Noirs :* ce qui caractérise l'agriculture très extensive de toutes les populations forestières peu évoluées, c'est que la forêt fut

toujours leur unique pourvoyeuse de terres de culture neuves ou plus ou moins régénérées.

Chez nous, cette pratique est devenue exceptionnelle, mais dans les pays tropicaux elle est encore, en fait, la seule usitée et se révèle remarquablement constante en son principe, quelle que soit la région considérée : le ray indochinois et le tavy malgache sont peu différents du tongo congolais et tous font peser sur la forêt un fardeau généralement très lourd.

Entre autres motifs, c'est ce fardeau qu'on a voulu progressivement alléger dans notre Colonie en fixant les nouveaux « paysans indigènes » dans des lotissements où chaque chef de famille vient occuper un lot de parcelles dont les dimensions sont calculées en fonction de l'assolement adopté et dont le nombre, marge de sécurité comprise, est déterminé par la révolution jugée nécessaire, eu égard aux conditions écoclimatiques, pédologiques, floristiques, etc., locales. Il est encore prématuré de porter sur ces expériences, tentées en diverses régions congolaises, un jugement définitif ; jusqu'ici les résultats en paraissent encourageants.

En raison de la multitude de petites parcelles annuellement occupées ou réoccupées, le cultivateur noir constitue un agent des plus actifs de l'évolution régressive des formations forestières. Cette évolution, généralement assez lente, pourra être parfois très rapide et alors en quelques années la savanisation sera chose accomplie, presque toujours définitive pour de larges surfaces (cas de l'Ubangi en bordure Nord-Ouest de la grande forêt ombrophile).

Il semble pourtant que, jusqu'à l'arrivée des Blancs et sauf l'exception de méthodes culturales trop spoliatrices, partout où l'ont permis le climat et le relief des terrains, la population indigène formée de tribus vivant isolément en économie fermée et sans grands besoins, est restée à peu près en équilibre avec le milieu ambiant et, dans l'ensemble, n'a pas contraint la forêt à un recul trop prononcé.

Pour celle-ci, le degré de nuisance des deux grands systèmes culturaux des Noirs, avec leur caractère plus ou moins marqué de nomadisme obligatoire, dépend de diverses conditions climatiques, orographiques et démographiques que nous allons succinctement évoquer ci-dessous.

— Système cultural continu, dit forestier :

Il est pratiqué par les peuplades en majorité bantoues vivant dans l'aire climatique optimale de la forêt dense ombrophile de basse altitude, où se rencontrent pluviosité favorable, relief peu accentué du sol et populations assez clairsemées sans bétail ; en s'y installant, quelques tribus non bantoues ont adopté ce système.

En pareil milieu, les formations forestières, normalement sans déséquilibre biologique, s'opposent mieux et plus longtemps qu'ailleurs aux principales causes de dégradation et de régression ; c'est ce qu'a suffi-

samment compris le cultivateur indigène qui s'est mis à pratiquer une jachère forestière assurant à peu près la statique du sol, jachère d'ailleurs tout indiquée par l'exubérance de la végétation spontanée en général et les vigoureuses réactions de la flore forestière, tant herbacée que ligneuse ; ici, en raison de l'humidité ambiante, le feu intervient moins qu'ailleurs dans les défrichements et, au surplus, le feu courant ne « mord » pas sur la forêt dense franchement ombrophile, si ce n'est parfois aux clairières ou lisières, c'est-à-dire là où l'humidité est déjà moindre.

En gros, ce système peut se ramener à ceci : une courte période de culture (± 3 ans) laissant au sol un suffisant reliquat de fertilité pour assurer une reforestation naturelle aisée, puis une période de jachère forestière aussi longue que possible, mais en réalité de durée réglée par les disponibilités effectives du clan en terres de culture et le cycle recommence. Si ces disponibilités sont suffisantes, un champ défriché par le père n'est souvent redéfriché que par le fils, soit après 3 + environ 25 ans = près d'une trentaine d'années.

Vers le début de la période de jachère naît un épais peuplement secondaire d'héliophytes arborescents de croissance rapide, qui suffit généralement à reconstituer les réserves d'humus et la fertilité du sol en vue d'une nouvelle période de culture ; dans la négative, avec une jachère raccourcie, le système n'est plus continu que de nom, car chaque remise en culture accentue le déficit de fertilité et accentue la régression du peuplement de remplacement, imposant bientôt la recherche d'une parcelle boisée vierge à défricher ; nous pensons qu'il est contre-indiqué dans les régions boisées dont l'indice annuel d'aridité n'est pas au moins égal à 45.

Même une longue révolution n'exclut pas totalement l'éventualité d'une certaine régression lente du peuplement par la raréfaction progressive d'essences plus exigentes ou de régénération naturelle moins aisée.

Il n'est évidemment question ici que du simple maintien de l'état boisé, puisque des peuplements soumis à des défrichements répétés, même à la révolution exceptionnelle de trente ans, ne sont d'aucun intérêt pour la production de bois de qualité ; le cas des vieux peuplements de limba du Mayumbe ou d'okoumé du Gabon, présumés spontanément installés sur d'anciens défrichements indigènes, ne leur est donc pas comparable.

— Système cultural discontinu :

C'est celui de diverses peuplades congolaises, non exclusivement bantoues, installées au-dehors de la grande sylve centrale, dans les aires actuelles ou anciennes de formations forestières de types variés : de plaine ou de montagne — dense ou clair — peuplements ombrophytiques, tropophytiques ou mixtes, suivant les situations.

Le recul à peu près général de ces formations semble bien être sous la dépendance d'un ou plusieurs des facteurs défavorables suivants: périodes de sécheresse toutes supérieures à deux mois et souvent plus longues et marquées — vents périodiques secs et parfois chauds — terrain parfois accidenté — populations de densité variable, parfois très forte et qui toutes tiennent au moins un peu de petit bétail (chèvres), certaines, de l'Est, possédant un important cheptel de gros et petit bétail (ovins rares) — cultures alimentaires à prépondérance de graminées.

On se trouve donc, d'une part dans un milieu à vocation bien moins forestière, où l'équilibre instable de formations plus fragiles se change vite en un net déséquilibre, qu'accentuent, d'autre part, vu certaines des conditions aggravantes susmentionnées, une propension plus marquée des sols à la dégradation et l'action plus fréquente des feux non spontanés.

Il n'y a aucune jachère régulière, forestière ou non : après une période de culture de durée variable, mais beaucoup plus longue que celle du système continu, le terrain épuisé à fond et trop appauvri pour produire, soit une récolte modeste, soit le recru d'une jachère forestière, est délaissé pour un temps illimité, parce que la dégradation du terrain se poursuit du fait du passage presque annuel des feux courants favorisés par l'apparition d'une flore de graminacées vivaces et autres pyrophytes.

La végétation ligneuse se maintiendra généralement dans les galeries forestières, les ravins, ou réapparaîtra plus tard sous forme d'espèces arbustives clairsemées et pyrorésistantes.

Le résultat sera l'installation pratiquement définitive de savanes anthropiques s'arrêtant normalement au stade du subclimax, mais pouvant, dans les cas extrêmes, évoluer jusqu'au terme ultime où l'érosion et la dégradation conjuguées conduisent à des formations steppiques ouvertes dépourvues, totalement ou presque, de végétation ligneuse.

Faute de peuplements forestiers plus ou moins intacts, le système discontinu est donc fréquemment appliqué à une savane arbustive déjà dégradée dont le faible regain de fertilité, trop tôt utilisé et épuisé, accélérera encore la régression pourtant rapide. Il est à peine besoin de souligner que la conséquence inévitable de l'application du système discontinu, surtout en pays montagneux, est une nette avance de la savane sur la forêt, résultant de la diminution progressive du potentiel de production des terres et de la raréfaction de celles-ci.

Un curieux cas de progression différée du déboisement se constate au Kivu : l'érosion des pentes dénudées, ayant jadis comblé de matières terreuses et végétales le lit majeur de certains petits affluents de la Ruzizi, a transformé ensuite celui-ci en marais couvert d'une formation dense de papyrus où a disparu par enfouissement et submersion la galerie forestière préexistante.

b) *Pour les Blancs :* leur part directe dans le déboisement aux fins de culture est réelle mais moindre qu'on le croit couramment.

En effet, de l'ensemble des terrains de culture cédés ou concédés aux colons et sociétés, une part seulement était effectivement couverte de forêts qui toutes ne furent pas défrichées pour être plantées ; leurs plantations sont pour la plupart des plantations permanentes d'espèces arbustives ou arborescentes (caféiers, cacaoyers, hevea, elaeis) où sont de plus en plus usitées des méthodes de protection, voire d'amélioration du sol ; certains travaux de reboisement sont en outre exécutés par eux dans les régions pauvres en bois de l'Est et du Sud.

De ce qui précède, il résulte que l'emprise totale annuelle des Blancs sur la forêt aux fins de culture est incomparablement moins étendue que le total annuel des défrichements des Noirs dont le grand nombre est évidemment le fait capital.

Bien moins favorablement, par contre, se présente la part indirecte d'intervention des Blancs en général et qui a trait à l'important supplément de surface défrichée annuellement par les Noirs pour subvenir aux besoins nouveaux découlant des diverses activités européennes : large surcroît de produits vivriers indigènes consommés par les travailleurs noirs et leurs familles — produits de culture exportés, entre autres le coton que, dans les zones cotonnières proches de la forêt, l'on tend de plus en plus et sans motifs suffisants à récolter sur défrichements forestiers.

2) *Terres de pâture*

Sauf rares exceptions, ce ne sont que pâturages naturels assez pauvres, de composition floristique très variable, ne permettant au bétail qu'un parcours intermittent et exigeant de très larges surfaces unitaires.

La proportion de graminées rhizomateuses vivaces et de faible valeur nutritive y est d'autant plus élevée qu'est plus marquée la dégradation du sol due, entre autres causes, au passage régulier de feux courants, par ailleurs nécessaire à la repousse des herbes ; de sorte que, entré dans le funeste cycle des incendies périodiques, le pasteur ne peut plus en sortir.

Ceci et d'autres particularités qui suivent montrent combien grave est le danger du facteur anthropozoïque pour les formations forestières; au surplus, les pasteurs sont aussi plus ou moins cultivateurs, d'où double besoin de terres à prélever sur la forêt.

Par ordre de nocivité décroissante, on peut classer comme suit les ruminants domestiques : d'abord les chèvres capricieuses et agiles grimpeuses, phyllophages partiels, nombreuses aux abords des forêts de montagne où elles sont responsables de graves dégâts d'abroutisse-

ment (*) ; puis les bovidés, abondants par régions et gros consommateurs d'herbages ; enfin et dans une mesure bien moindre, les moutons assez rares et présents dans les seules régions de l'Est.

a) *Pour les Noirs :* leurs pâturages sont en général d'anciennes terres de culture appauvries ou trop éloignées qu'ils livrent au parcours du bétail, petit ou gros.

Il est cependant des exceptions à cette règle et certains pâturages d'altitude sont conquis directement — sauf éventuelle et préalable culture de pois ou d'éleusine — sur la forêt dont le processus de secondarisation, du fait de la pente et du feu, est alors extraordinairement rapide.

De fréquentes emprises sont surtout nécessaires lorsqu'un cheptel trop abondant entraîne la surcharge des pâturages et l'érosion consécutive, ainsi que l'incessant besoin de nouveaux parcours. C'est un besoin semblable qui a incité les pasteurs barundi et banyaruanda à transhumer, en saison sèche, vers les pâturages congolais d'altitude de l'Itombwe, du Bufulero et du Gishari où le déboisement sévit dangereusement.

Le recours quasi-obligé aux incendies périodiques entraîne dans les savanes ainsi créées la disparition de la plupart et parfois de toutes les essences forestières ; subsistent le plus longtemps, quoique souvent en sujets bas ou buissonnants, les espèces mieux adaptées, soit par leur reproduction végétative (rejets des *Albizzia,* etc.) pouvant suppléer à une reproduction générative devenue aléatoire, soit par leur meilleure protection contre les atteintes du feu (*Agauria, Myrica,* etc.).

L'intensité, la progression et, partant, la nuisance de celui-ci sont d'ailleurs fonction de diverses conditions et circonstances : force, direction et persistance du vent — époque de l'allumage, donc du degré de siccité de l'aliment offert au feu — densité et nature de la couverture herbacée, donc abondance plus ou moins grande du dit aliment.

C'est dire que les feux très tardifs de fin de saison sèche consumant presque complètement une épaisse et très combustible couverture, de *Pennisetum* par exemple, seront les plus destructeurs ; il est rare que la végétation ligneuse leur résiste bien longtemps.

Quant aux feux dits hâtifs, allumés aussitôt que possible après les pluies et ne consumant que les seules sommités sèches des herbes, il semble qu'on puisse les considérer comme la plus pratiquement efficace et la moins onéreuse protection contre les feux tardifs ; ceci tout au moins dans les cantons bien contrôlés, puisque la protection totale de vastes étendues est bien difficilement réalisable, sinon impossible actuellement.

(*) Au Kenya, des affiches apposées par le Service forestier avertissent en ces termes le pasteur indigène : « Si tu veux le désert, tiens des chèvres ! »

A ce propos, notons que l'arrêt de l'action inhibitrice des incendies annuels, lorsque l'état de dégradation n'est pas trop avancé, est susceptible d'amorcer la réversion de l'évolution régressive antérieure et de provoquer une certaine forme de reforestation naturelle des peuplements ainsi protégés.

Ces dernières considérations peuvent retenir l'attention de ceux qui ont en vue la protection des terrains boisés ou à reboiser, mais aussi de ceux qui ont souci de ménager les réserves de terres de culture et de pâture.

b) *Pour les Blancs :* hormis quelques cas d'élevage en semi-stabulation pour le ravitaillement en produits laitiers des grands centres congolais et certains noyaux d'élevage de missions et colons, la majeure partie du cheptel est constituée par les grands troupeaux de bovidés des sociétés européennes se livrant au « ranching » dans les vastes étendues de steppes et savanes steppiques de la périphérie méridionale ou orientale de notre colonie.

Pratiquement inexistante avant, la végétation arborescente n'a pas eu beaucoup à souffrir de cette occupation, si ce n'est dans la très faible mesure du défrichement de quelques boqueteaux, galeries forestières ou ravins, gîtes de glossines ou autres ennemis du bétail.

3) *Terres de chasse*

Du point de vue considéré, celles-ci n'intéressent presqu'exclusivement que les Noirs qui, dans les savanes plus ou moins giboyeuses de types divers et à des époques tantôt tardives, tantôt hâtives, allument des feux, soit pour rabattre le gibier vers les filets des chasseurs, soit encore pour préparer aux herbivores sauvages des viandis qu'ils fréquenteront successivement et y seront abattus.

L'effet de ces feux sur la persistance de la végétation ligneuse sera d'autant plus nuisible qu'ils seront allumés plus tardivement et qu'ils risquent ainsi de s'étendre souvent bien au delà des limites spatiales prévues par ceux qui en sont les auteurs.

B. CAUSES ACCESSOIRES

Pas plus que tous autres groupements végétaux, les formations forestières n'échappent aux lois de la concurrence vitale, tant de celle qui s'exerce dans leur propre sein, aux dépens des arbres notamment, que de la concurrence qu'elles subissent du dehors de la part d'autres formations ou organismes végétaux cherchant à les supplanter.

Nous ne les envisagerons toutefois pas dans cette étude, où elles ne pourraient trouver place sans nous entraîner trop loin ; à cet égard, nous nous contenterons de mentionner ici l'activité, probablement très grande en milieu chaud et humide, de divers agents mycologiques fores-

tiers, tant parasites que saprophytes. Nos connaissances, trop restreintes en cette matière, ne nous permettent toutefois pas d'émettre une opinion fondée sur la part, encore très difficile à apprécier, de ces agents dans la répartition des formations forestières.

Moins imparfaitement connus sont les organismes animaux sauvages vivant dans le milieu forestier congolais ; voici quelques indications concernant leur rôle.

1) *Les animaux supérieurs*

Leur rôle n'est pas négligeable, mais assez différent selon les espèces.

Compte tenu de la diversité des frugivores en cause et de la variété des aspects de l'endochorie voire de l'exochorie qui leur fait, malgré destructions et pertes inévitables, rechercher et disperser maints fruits ou graines, ce rôle est souvent bienfaisant, entre autres de la part des :

Eléphants : pour des essences des genres *Ficus, Parinari,* etc... ;

Suidés sauvages : *Allanblackia, Parinari* et plusieurs espèces à graines grasses ;

Antilopes : *Chlorophora, Dialium,* etc. ;

Singes arboricoles et autres : Diverses essences à fruits comestibles ;

Rongeurs : Plusieurs essences à graines oléagineuses ;

Oiseaux : *Celtis, Trema, Musanga, Harungana, Chlorophora, Pycnanthus, Pseudospondias, Lannea,* etc.

Il peut aussi se révéler assez malfaisant et son importance, comme son étendue et sa localisation relatives dépendront du caractère, grégaire ou non, de l'espèce animale considérée, ainsi que de l'abondance et de la mobilité de ses représentants. En ordre principal citons les éléphants gros mangeurs d'herbes, mais aussi de rameaux feuillus, écorces, racines qu'ils brisent, arrachent ou déterrent ; ils peuvent donc dégrader, voire détruire, certains peuplements (d'*Acacia* p. ex.) et provoquer ainsi l'apparition de véritables groupements zoogénètes de remplacement.

2) *Les insectes*

Bien qu'à leur égard ce qu'on connaît soit encore fort insuffisant, les attaques d'insectes ne nous paraissent pas susceptibles de compromettre l'existence de portions notables de forêts naturelles congolaises, presque exclusivement feuillues d'ailleurs ; ceci parce que ces forêts se trouvent en présence de l'équilibre biologique formé par les espèces entomologiques phyllophages et xylophages avec leurs ennemis naturels ; mais il n'en sera plus de même lorsque s'étendront les forêts plus ou moins pures artificielles, surtout d'essences non indigènes.

Même les migrations d'acridiens sont pratiquement sans effet sur les formations ligneuses naturelles ; dans les savanes, les dicotylées

arborescentes demeurent inattaquées et quand les vols atteignent la forêt dense humide, c'est pour y disparaître sans laisser de traces.

Les termites : l'opinion d'ensemble ci-dessus relative à la possibilité d'une action des insectes sur les formations forestières ne peut s'appliquer telle quelle aux termites ; leur rôle complexe et probablement important semble toutefois plutôt indirect, tout au moins pour les espèces terricoles, plus nombreuses et peut-être plus actives que les termites arboricoles.

Bien que, dans le domaine végétal, le régime alimentaire des termites avides de celluloses comprenne, selon les espèces, outre des herbes, feuilles sèches et graines, du bois en quantités proportionnées aux ressources locales, celui-ci n'est pas prélevé sur des arbres sains, ni à bois dur contenant relativement plus de lignine, mais se compose de bois mort, rhytidomes, branches desséchées ou tombées, souches dépérissantes, arbres affaiblis par l'âge, la maladie ou des traumatismes quelconques ; ceci, s'il en existe à leur portée, sans préjudice à toutes matières ligneuses coupées, débitées ou ouvrées par l'homme dont les besoins sont ainsi accrus.

Les termites consommeraient aussi des matières humiques ou en voie d'humification et si, du point de vue physique tout au moins, leur rôle pédologique (ameublissement, aération, humidification) n'est pas sans quelque analogie avec celui des lombrics, comme les premiers, coprophages et nécrophages, ne laissent aucun déchet et mis à part certains éléments utiles du sous-sol ramenés en surface, leur action fertilisante reste, dans l'ensemble, à démontrer ; notons toutefois que le flanc des vieilles termitières est volontiers cultivé par les Noirs.

Par contre, la destruction directe de beaucoup de débris végétaux, si elle diminue l'intensité des feux courants en raréfiant leur aliment, a aussi pour conséquence de presque tarir la source d'humus, déjà si rare et fugace, dans les formations claires plus ou moins arborescentes; par là, le rôle des termites serait néfaste à celles-ci dans la mesure du type, du nombre et de la population de leurs colonies.

Présents dans toute la zone intertropicale, dont ils dépassent parfois les limites, les termites sont particulièrement abondants et d'espèces variées dans les régions à saison sèche assez marquée d'Afrique Centrale, notamment du Congo Belge ; le volume des termitières terricoles, tant hypogé qu'épigé, va de quelques décimètres cubes à plusieurs centaines de mètres cubes, les plus volumineuses étant surtout nombreuses dans les régions peu peuplées, entre autres dans notre colonie (au Katanga p. ex.) ; par nuit calme, dans la savane boisée katangaise, l'immense bruissement produit par les myriades de termites au travail fait soupçonner leur impressionnante abondance et leur énorme activité.

Dans cette étude, nous avons essayé de faire apparaître les divers facteurs régissant la répartition des formations forestières tropicales,

plus spécialement congolaises, avec leurs degrés d'importance respectifs. Nous espérons avoir aussi montré combien est complexe et encore mal élucidé tout ce qui a trait à cette répartition.

Une politique de stricte prudence et de vigilante économie doit inspirer tous actes et décisions intéressant la forêt tropicale à quelque titre que ce soit.

Le Congo Belge est mieux pourvu de ressources forestières que la plupart des autres pays tropicaux et son taux de boisement général — il est voisin de 50 % mais on le souhaiterait mieux réparti — est favorable ; notre colonie ne peut néanmoins se dispenser de pratiquer cette même politique forestière de sagesse, compte tenu de l'important rôle indirect de ses forêts et en prévision d'un large accroissement de ses propres besoins de bois, des besoins de certains de ses voisins africains et de ceux des pays d'outremer, de la zone tempérée notamment.

Sur la base de renseignements et recoupements admissibles, la comparaison de nos ressources forestières actuelles et de celles qui existaient vraisemblablement il y a quelque trois quarts de siècle doit nous garder de tout optimisme facile et nous inciter à veiller jalousement à la sauvegarde du patrimoine forestier congolais.

OUVRAGES CONSULTES

BERNARD, E. — Le Climat Ecologique de la Cuvette Centrale Congolaise — *Inéac* Bruxelles, 1945.

DUVIGNEAUD, P. — La Flore et la Végétation du Congo Méridional — *Lejeunia Rev. Bot.*, Bruxelles, 1952.

DUVIGNEAUD, P. et LEONARD, J. — Carte schématique des principaux aspects de la végétation du Congo Belge — *Les Naturalistes Belges*, N^{os} 3-4, Bruxelles, 1953.

HEGH, E. — Les Termites — Bruxelles, 1922.

LAVAUDEN, L. — Le Problème Forestier Colonial — Paris, 1931.

LEBRUN, J. et GILBERT, G. — Une Classification écologique des Forêts du Congo — *Inéac*, Bruxelles, 1954.

LEONARD, J. — Les Forêts du Congo Belge — *Les Naturalistes Belges*, N^{os} 3-4, Bruxelles, 1953.

MULLENDERS, W. — La Végétation de Kaniama — *Inéac*, Bruxelles, 1954.

ROBERT, M. — Le Congo Physique, 2^{me} édit., Bruxelles, 1942.

ROBYNS, W. — Note écologique sur quelques bains d'éléphants au Congo Belge — *Bull. Inst. Roy. Col. Belge*, XII - 1941 - 2, p. 318.

SCAETTA, H. — Les Famines Périodiques dans le Ruanda — Bruxelles, 1932.

SCAETTA, H. — Le Climat écologique de la Dorsale Congo-Nil — *Inst. Roy. Col. Belge,* Bruxelles, 1934.

THOMAS, R. — Les limites climatiques de la Cuvette Centrale Congolaise et le Système Forestier bantou envisagé sous l'angle de la protection de la forêt — *Bull. Agri. Congo Belge,* Vol. XXXIII, n° 4, Bruxelles, 1942.

THOMAS, R. — A propos des lotissements agricoles du Nord-Sankuru - Comm. n° 98, *Comptes rendus de la Semaine Agricole de Yangambi,* 2me partie, p. 809 — *Inéac,* Bruxelles, 1947.

THOMAS, R. — Quelques considérations sur le double problème des forêts et des sols du Nord-Est Congolais et plus spécialement du Kivu — *Rev. d'Agron. Col.,* n° 7, Costermansville, 1947.

THOMAS, R. — Contribution à l'étude de l'écologie des formations forestières et savanes congolaises — *Conférence Africaine des Sols,* Goma novembre 1948, Comptes rendus, Comm. n° 60.

THOMAS, R. — Essai de classement des formations congolaises à végétation arborescente d'après le groupement de leurs indices mensuels d'aridité — *Bull. Agri. Congo Belge,* Vol. XLI, n° 2, Bruxelles, 1950.

TROCHAIN, J. L. — La Forêt Dense Africaine — *Naturalia,* nos 6 et 7, 1954, Paris.

VERMOESEN, C. — Manuel des Essences Forestières du Congo Belge — Bruxelles, 1923.

LABORATOIRE DE GEOLOGIE ET DE GEOGRAPHIE PHYSIQUE

L'aide pratique apportée par les photos aériennes (*)

par

V. TONNARD

AVANT-PROPOS

La méthode d'analyse géographique du paysage par la voie des photos aériennes devient de plus en plus fréquente dans tous les domaines où elle est susceptible d'être appliquée : enseignement, géologie (**), sylviculture, archéologie.

Ayant eu l'occasion de pratiquer les méthodes photogrammétriques pendant un stage à l'Institut géographique militaire, il m'a semblé intéressant de donner quelques détails pratiques d'obtention et d'utilisation de ces photos par des *chercheurs isolés* (étudiants, forestiers de l'Administration, géologues sur le terrain, préparation des thèses, etc.). Les chercheurs attachés à une chaire ou à une station peuvent, eux, s'adresser à des organismes officiels qui se chargent des formalités et ils connaissent souvent, de par leur activité en contact avec les procédés nouveaux, les méthodes d'utilisation des couples stéréoscopiques.

COMMENT OBTENIR DES PHOTOS AERIENNES ?

La Belgique et ses régions limitrophes sont pratiquement entièrement couvertes par deux jeux de photos (au 10.000^{me} et au 40.000^{me}). Donc en principe, on peut obtenir la photo aérienne d'un coin quelconque de notre territoire. Il n'en est pas encore de même pour le Congo où les missions sont toujours en cours.

(*) Déposé à la rédaction le 30 mai 1955.

(**) Pour une exploitation purement géologique des photos aériennes, se reporter à : THONNARD, R. L. G. — Utilisation de la photographie aérienne nadirale en géologie. — *Bull. Soc. Belge Géologie*, T. LXIII, 1954, N° 2, p. 159-188.

Quelle est la région désirée ? La première chose à faire consiste à délimiter sur une carte (au 40.000^{me} ou au 50.000^{me}) la région à étudier. Ceci permettra de gagner du temps lors du choix des photos.

Déplacement : Il est pratiquement indispensable — sauf pour les grosses commandes couvrant des feuilles entières — de se déplacer à la photothèque de l'Institut géographique militaire (1). On peut également prévenir en écrivant au service Documentation et en indiquant sur une minute, la région demandée. On n'attendra pas ainsi que le service fasse les recherches dans les classeurs.

Le choix de l'échelle ne dépend pas seulement de la grandeur des détails que l'on veut observer, mais également de la saison à laquelle le jeu a été photographié. En effet, certains détails apparaissent mieux à certaines saison pour des raisons de dégagement, d'éclairement, de reflets (ex. la distinction des détails dans les bois, plantations, sur les lignes de chemin de fer, les cours d'eau non gelés, est plus facile en hiver sous une mince couche de neige qu'en été). D'autre part, dans certains jeux, des parties peuvent être rendues inutilisables : flou, manques, nuages.

Voici comment on prend note d'une photo en vue de sa désignation et de sa commande (se référer à l'exemple de la figure 1) : Cliché n° 258, Planche 59/8, Mission B_1/1948, Echelle 1/10.000.

Commandes : Sur place ou par écrit, on demande un formulaire de commande et on prend *officiellement* (signature requise) connaissance de la législation concernant la détention de documents intéressant la défense nationale. Le délai de livraison varie entre 6 semaines et 3 mois (2). Le prix des photos est actuellement de 17 frs pièce en format unique et standard de 18 $\times$ 18 cm. Elles peuvent s'obtenir en brillant ou en mat. Le brillant donne de meilleurs effets stéréoscopiques sous la lumière artificielle bien orientée pour éviter les reflets ; par contre, le mat permet d'écrire sur les photos. Il est cependant préférable d'utiliser un papier calque collé à la photo sur l'un de ses quatre côtés par une charnière de papier gommé.

Avec les photos, sera fournie une esquisse cartographique indiquant la surface couverte par chacune des vues : c'est le *tableau d'assemblage* (fig. 2).

La reproduction de ces documents est interdite. La publication est soumise à des autorisations spéciales.

(1) S'adresser à l'huissier de la Direction Générale, et demander un billet de visite pour le Directeur du Service de Documentation. Se munir de sa carte d'identité.

(2) Il ne faut pas s'étonner de ce délai puisque l'obtention des clichés est subordonnée aux résultats d'une enquête de sécurité.

PREMIERS RENSEIGNEMENTS A VUE : Au Nord ou au Sud de la photo, figurent certains renseignements, variables d'ailleurs suivant les missions. Sur le cliché présenté, on peut lire (fig. 1) :

Numéro de prise de vue : 5723.
Focale de la chambre de prise photographique : 213 mm 55.
Altitude relative de vol : 2.365 ms.
Date de prise de vue : 24 mars 1948.
Heure de prise de vue : 13 h 58' 47".
Type de chambre : Wild 21.
Contrôle du statoscope.
Echelle *approximative :* 1/10.000.

EXPLOITATION DES PREMIERS RENSEIGNEMENTS. W 21.

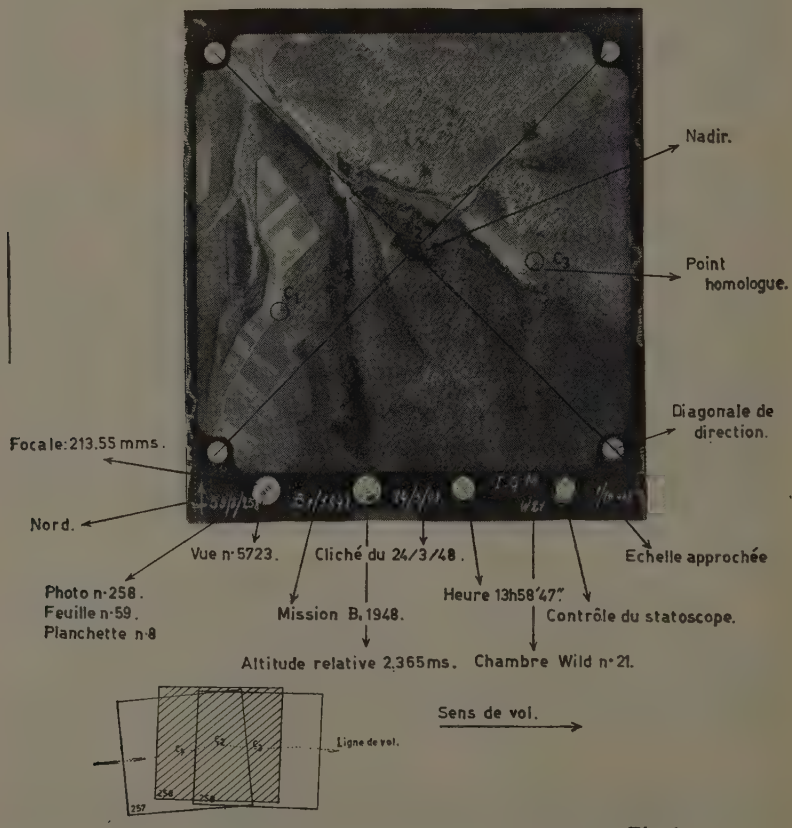


Fig.1.

DEFINITIONS

Centre de photo ou point principal, Nadir, isocentre (1). En pratique, on confond en un seul ces différents points et il est représenté par le centre géométrique de la photo. Ce centre s'obtient par l'intersection de deux diagonales qui sont amorçées aux quatre coins de la photo. Dans certaines chambres, les amorces sont représentées par un onglet au milieu de chacun des quatre côtés. Il est donc facile de matérialiser ce point par un trou d'épingle sur chacun des clichés.

Recouvrement : Comme le montre le tableau d'assemblage, chaque cliché recouvre une partie des clichés voisins. Il y a donc une partie commune aux deux photos, représentant la même surface. Une absence accidentelle de recouvrement s'appelle un « manque ». Il existe deux types de recouvrement. Le *recouvrement longitudinal* qui définit la zone à étudier et qui est indispensable pour la perception du relief en vision binoculaire. Il faut 50 % de recouvrement pour avoir une possibilité d'observation continue sur tous les couples. En pratique, on adopte 60 à 65 %. En conséquence, un cliché normal doit toujours contenir, outre son propre Nadir, l'image (ou points correspondants) des Nadirs des deux clichés voisins. Trois clichés successifs ont ensemble une surface commune de 20 %. Le *recouvrement transversal* est assuré entre deux bandes successives de clichés et est de l'ordre de 30 %.

Couple stéréoscopique : Il est formé par deux clichés consécutifs qui se recouvrent normalement.

Points homologues : Ce sont les deux images d'un même point quelconque du terrain sur les deux photographies du couple.

Points homologues principaux : Le recouvrement de deux photos consécutives est suffisant lorsque le centre de l'une se retrouve sur l'autre. On trouve donc trois points particuliers dans un cliché : le centre de la photo considérée, et les homologues des centres de la photo précédente et de la photo suivante. Ces points particuliers reçoivent la dénomination de points homologues principaux.

Direction de base : En superposant les deux photos du couple de telle sorte que les points homologues se confondent, la direction obtenue en joignant les Nadirs représente la direction de base.

Ligne de vol : En superposant de la même manière plusieurs clichés d'une même bande et en joignant bout à bout les directions de base de chaque couple constitutif, on obtient une ligne brisée représentant la ligne de vol réelle. Ce devrait être idéalement une droite, c'est-à-dire

(1) *Point principal :* centre géométrique du cliché obtenu à l'intersection des diagonales ou des médianes amorçées sur le cadre.

Nadir : intersection avec le plan du cliché de la normale passant par le centre optique.

Isocentre : intersection de la droite tirée entre le point principal et le Nadir avec l'intersection du plan du cliché et de son plan idéalement horizontal.

que toutes les bases des couples d'une même bande devraient avoir la même direction (par rapport au Nord de vol) (fig. 2).

INSTRUMENTS A UTILISER

Il existe dans le commerce une quantité considérable de stéréoscopes. Depuis le stéréorestituteur automatique qui donne un tracé immédiat de la minute cartographique et qui est utilisé dans les Instituts géographiques et dans les Services cadastraux, jusqu'aux petits stéréoscopes de poche, il y a une gamme complète pour toutes les exigences. Un certain nombre sont le plus couramment utilisés. Le moins coûteux est la *plaquette stéréoscopique* de campagne qui ne dépasse pas cent francs, mais présente l'inconvénient de ne pouvoir étudier en une seule fois les couples d'un format supérieur au format standard : 18 × 18. Retenons ensuite le *stéréoscope Casella (Matthey)*, *l'aéroscope Richard* pouvant déjà être complété par une barre parallactique, pour la mesure des différences de niveaux absolus, *le stéréoscope Zeiss* qui peut aussi être utilisé avec une barre parallactique. *Le stéréocomparagraphe Fairchild* avec barre parallactique incorporée permet, grâce à ses miroirs, d'éviter le chevauchement des deux clichés du couple même lorsqu'ils sont de grand format. Signalons encore un dernier né : *le stéréoscope Wild ST3* à miroirs, jumelles et barre parallactique.

Il faut cependant remarquer que plus l'instrument est coûteux et parfait, plus il exige un réglage soigneux et une mise au point rigoureuse des oculaires. Ces stéréoscopes ont leurs oculaires à écartement fixe ou légèrement variable de l'ordre de 65 mm (entre 60 et 80). Il faudra régler cet écartement et le tirage des oculaires au cours du montage des couples. Mais pour ce faire, l'observateur devra porter ses lunettes ordinaires si celles-ci lui sont nécessaires dans la vue éloignée. En effet, l'image plastique formée au stéréoscope est rejetée à l'infini ou du moins à plusieurs mètres.

Pour mémoire, citons *les stéréorestituteurs à chambre* (1) travaillant sur diapositives et reconstituant par un processus inverse de la prise de vue l'image plastique sur laquelle les opérations de correction pourront être faites (basculement, correction de la parallaxe verticale, redressement). Deux équipiers travaillent sur cet appareil : le restituteur et le dessinateur qui ne fait que contrôler le tracé automatique du dessin ; en effet, ces montages permettent le tracé direct des détails planimétriques et *altimétriques*.

MISE EN PLACE DU COUPLE STEREOSCOPIQUE

Sur la première photo, de gauche à droite, on détermine le point principal ou Nadir. Il suffit de tracer les diagonales ou les médianes qui sont amorcées sur le cliché par des croix ou des onglets (fig. 3) (C_1). On fait de même avec la seconde photo (C_2). On reporte sur la première

(1) Restituteurs Poivilliers, Santoni. Autographe Wild. Planigraphe Zeiss.

photo le point homologue du Nadir de la deuxième (C'_2) et sur la deuxième, le point homologue du Nadir de la première (C'_1) (1).

Sur la table de travail ou sur une planchette, on trace une droite (X—Y) et on amène les deux points définis sur la première photo

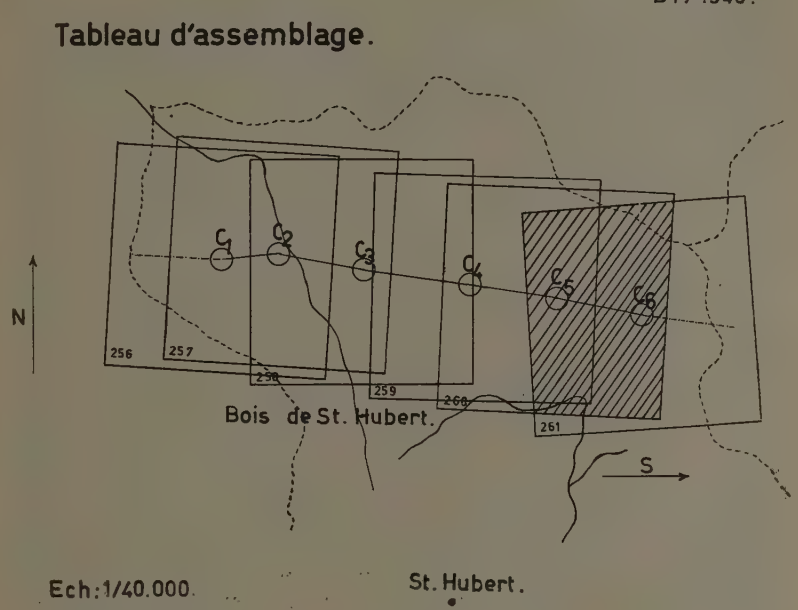


FIGURE 2

C_1, C_2, ... C_6 : Centre ou Nadir de chaque cliché.
N : Nord de vol.
S : Sens de vol.

La ligne joignant les Nadirs est la ligne de vol réelle. Elle devrait être idéalement une droite.

Chaque photo porte trois points particuliers : le Nadir et les deux points homologues des Nadirs de clichés voisins.

Exemple : le cliché 257 porte 3 points : son Nadir : C_2 ;
le point homologue du Nadir de 256 : C_1 ;
le point homologue du Nadir de 258 : C_3.

On remarquera aussi qu'il y a un *manque* entre 258 et 259, car 259 devrait contenir outre C_4 et C_5, le point C_3 homologue du Nadir de 258.

Dans le couple 260/261, la partie commune a été hachurée. Cette surface est exploitable au stéréoscope pour obtenir une image plastique.

(1) On utilise pour cela des détails planimétriques qui serviront de point de repère. Avec un peu d'habitude, on reporte les points par voie stéréoscopique. Pour marquer les points sur les clichés, on utilise de fines piqûres d'épingle, matérialisant le point par un trou facilement visible au grossissement du stéréoscope.

(C_1 et C'_2) en coïncidence avec la droite X—Y (utiliser de longues épingles). On fixe *le côté gauche* par deux punaises.

Lire ensuite sur le stéréoscope la distance entre oculaires qui correspond le mieux à la vue de l'observateur (D). Certains stéréoscopes n'ont pas de telles graduations ; on utilise alors le décimètre pour évaluer la distance entre les bords homologues des deux oculaires.

On place ensuite la deuxième photo de telle sorte que C'_1 et C_2 soient sur la droite X—Y et que la distance $C_1 — C'_1$ soit égale à D. On fixe provisoirement cette deuxième photo. Remarquons que la deuxième photo recouvre partiellement la première, si on n'utilise pas un stéréoscope à miroirs.

Le stéréoscope est alors amené sur le couple de telle sorte que son axe (droite qui passe par les centres d'oculaires et qui est le plus souvent matérialisée par une réglette) soit parallèle à X—Y. Le fusionnement stéréoscopique se réalise alors généralement et la perception du relief devient possible. Il faut évidemment un certain nombre d'exercices avant d'obtenir rapidement la vision stéréoscopique et il faut toujours attendre quelques instants, les yeux fixés à l'appareil avant que le relief ne devienne nettement apparent.

Si cependant le fusionnement stéréoscopique ne se produisait pas, on observera un détail bien apparent (un champ clair dans un milieu sombre ou une croisée de chemins de terre par exemple) et on regardera s'il apparaît double. En ce cas, on déplace la deuxième photo lentement et *parallèlement* à elle-même jusqu'à fusionner les deux images du même point. A ce moment, la perception du relief se réalise, en général assez brusquement. On fixera alors la deuxième photo d'une façon définitive au moyen de deux punaises par le côté droit. Le déplacement du stéréoscope d'un point à l'autre du couple se fera toujours par translations parallèles. Pour l'observation, on superposera tantôt le cliché de gauche à celui de droite, tantôt celui de droite à celui de gauche suivant la région étudiée. C'est pourquoi un côté seulement de chaque cliché est fixé par des punaises.

CALCUL DE L'ECHELLE, DE LA HAUTEUR DE VOL, DES DENIVELLATIONS DE TERRAIN

Le couple stéréoscopique étant maintenant fixé, nous allons calculer les constantes qui seront utilisées dans les mesures sur les clichés.

Mesure de la base : Les distances $C_1 — C'_1$ et $C'_2 — C_2$ sont les deux bases des deux clichés du couple (B_g et B_d). La moyenne arithmétique est la base moyenne du couple (B).

Mesure de l'échelle réelle : L'échelle indiquée sur les clichés n'est qu'une échelle approchée ; il y a lieu de calculer exactement l'échelle

de l'image plastique fournie par le couple. Soit x la distance entre deux points quelconques d'un cliché et X cette même distance sur une carte dont on connaît l'échelle exacte, e. Une règle de trois amène au résultat, E échelle du cliché : $E = \frac{e \times X}{x}$. On recommence pour quelques points du même cliché et la moyenne donne l'échelle réelle de la vue. Soient E_g et E_d les deux échelles des clichés gauche et droit du couple. La moyenne entre E_g et E_d donnera l'échelle du couple et restera l'échelle d'observation stéréoscopique. Elle est proche de l'échelle approximative indiquée sur la photo (ex. du 1/12.800 pour du 1/10.000). Si on ne possède pas de carte topographique de la région, il faudra demander *avec la livraison des clichés,* que le service de documentation indique sur ceux-ci les *points de passage* et *les points de contrôle* avec les distances qui les séparent. Les rapports entre les distances mesurées sur la photo et les distances réelles données permettront, par moyennes, de calculer l'échelle du couple.

Hauteur de vol : Elle est donnée par la relation : $H = f \times \frac{1}{E} . H$, en mètres, exprime la hauteur au-dessus du sol, E l'échelle du couple que nous venons de calculer, f est la distance focale en millimètres de la chambre de prise de vues (1). Comparée à la hauteur de vol au-dessus du plan de référence et lisible sur la photo, cette valeur H peut indiquer par soustraction la hauteur moyenne de l'image plastique au-dessus de ce plan de référence.

Dénivellation du terrain : Cette mesure exige l'emploi de la barre parallactique. Elle consiste en deux points matérialisés par deux poinçons dans deux lames de verre. On amène ces deux points à se confondre par vision binoculaire sur le détail à observer. Pour cela, grâce à des vis micrométriques, on peut animer les points matériels d'un mouvement relatif en X et en Y. On élimine d'abord la parallaxe verticale entre ces deux points par déplacement en Y (2). On élimine ensuite la parallaxe horizontale par déplacement en X et on mesure la valeur X_1 de la parallaxe horizontale. On recommence pour un autre point qui donne la parallaxe horizontale X_2 (les parallaxes s'expriment en millimètres et fraction de millimètres). Soit $D_p = X_2 - X_1$, la différence de parallaxe. La différence d'altitude entre les deux points envisagés est donnée par la relation : $D_h = \frac{D_p \times H}{B}$. D_h : différence de hauteur entre les deux points exprimée en mètres ; D_p : différence de parallaxe

(1) f est variable suivant les chambres de prise de vues et est connu par les indications reportées sur les clichés :

W 115 : 114.33 mm, à plaques, format 13 x 18.

W 21 : 213 55 mm, à plaques, format 18 x 18.

W RC : 213 et 115 mm, à films, format 18 x 18.

Poivillers SOM : 150 mm. format 18 x 18.

(2) parallaxe verticale : distance entre les deux points matériels en Y mesurée dans le plan écran.

entre les deux points exprimée en millimètres ; H : hauteur de vol exprimée en mètres ; B : base du couple exprimée en millimètres. On ne peut donc obtenir par ce procédé que la différence d'altitude entre deux points et non pas l'altitude absolue d'un point pris isolément.

Signalons encore que cette opération n'est valable qu'entre deux points très rapprochés (sommet d'un arbre et le sol avoisinant, toit d'une maison et sa base, etc.).

Observation et perception du relief : Le couple maintenant bien en place, on amène la base du stéréoscope parallèle à la droite X—Y et on le déplace parallèlement à lui-même pour prospecter la photo. Un

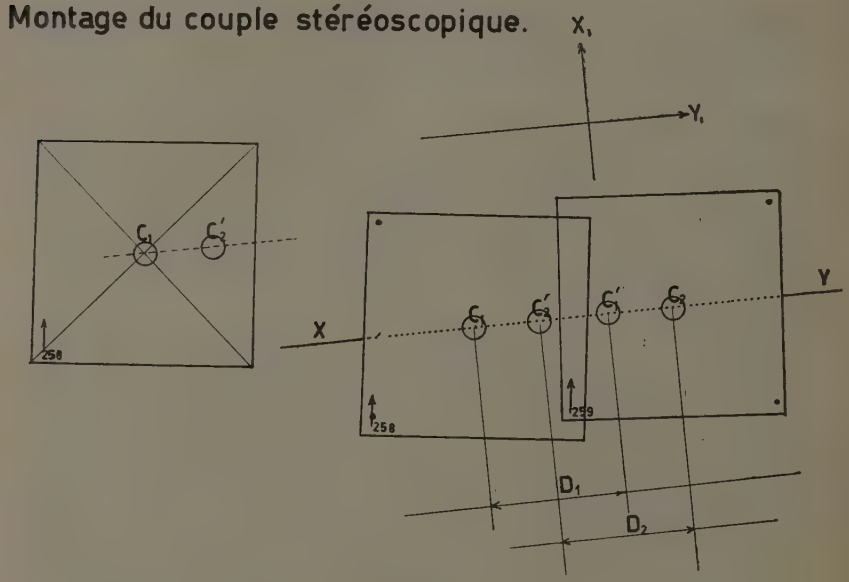


FIGURE 3

Cliché 258 : C_1 : Nadir.
C'_2 : Point homologue du Nadir du cliché 259.
Cliché 259 : C'_1 : Point homologue du Nadir du cliché 258.
C_2 : Nadir.

X-Y : Base imposée.

D_1 : Valeur de la base lue sur le stéréoscope réglé à l'écartement des yeux de l'observateur. La base du cliché 258 lui est égale.

D_2 : Base du cliché 259.

En X_1 et Y_1, sens de translation du stéréoscope dont la base reste parallèle à X-Y.

S : Sens de vol, déterminé soit par la succession des N^{os} de cliché, soit par la succession horaire à l'horloge du film statoscopique (cf. fig. 1).

soin particulier doit être accordé à l'éclairage. En effet, on remarquera que les détails des clichés ont des ombres portées le plus souvent bien visibles. On peut ainsi juger de la position du soleil et on placera la source de lumière de telle sorte qu'elle en occupe la place.

L'impression de relief est ainsi considérablement renforcée.

Si dans une prospection rapide, on ne compte pas utiliser le stéréoscope, c'est-à-dire que l'on renonce à la vision en relief, il devient indispensable d'utiliser une bonne loupe d'un diamètre suffisant (50 à 60 mm) et d'un grossissement de l'ordre de $\times$ 2.0. Un grossissement plus fort est inutile car le grain du papier interfère alors avec les détails planimétriques.

LA PHOTO PEUT-ELLE REMPLACER LA CARTE ?

C'est une erreur que d'espérer pouvoir utiliser une photo aérienne comme carte topographique. Le cliché enregistre des détails qui ne peuvent être représentés dans leur nombre et leur forme sur la carte topographique, mais un cliché doit toujours être complété par la carte de la région, car bien des traits graphiques qui ont été contrôlés au sol apparaissent de façon trompeuse sur le papier sensible.

Il est illusoire également de vouloir réaliser une carte en accolant des découpes de clichés côte à côte. La mosaïque ainsi obtenue, dite *mosaïque non contrôlée* parce que ni redressée ni mise à l'échelle, ne peut en aucun cas remplacer la carte car les vues aériennes ne sont que *théoriquement horizontales* tant qu'elles ne sont pas « redressées » par basculement et chaque découpe de la mosaïque est à une *échelle différente* quoique proche de l'échelle théorique commune tant que la « mise à l'échelle » ne sera pas exécutée.

Cependant, il est possible de réaliser à une échelle arbitrairement choisie, un dessin planimétrique des principaux points d'une région à partir d'un couple, c'est-à-dire d'effectuer graphiquement le travail planimétrique du restituteur. On utilise pour celà le fait que les angles de directions tracées entre deux points quelconques du terrain et le point terrain correspondant au centre de cliché se conservent sur les photos orthogonales et sur le terrain (photo conforme) (1). Il suffit de placer les deux clichés du couple comme indiqué sur le croquis et de construire par recoupement chacun des points que l'on désire voir figurer sur le plan (cf. fig. 4). L'échelle du plan ainsi réalisé est donnée par la relation $E = \frac{d}{L}$; d : distance d'écartement donné aux photos

(1) Propriété utilisée à l'Institut géographique militaire dans les opérations de *triangulation radiale par gabarits*. Ces triangulations permettent d'obtenir rapidement des *photoplans* de notre colonie.

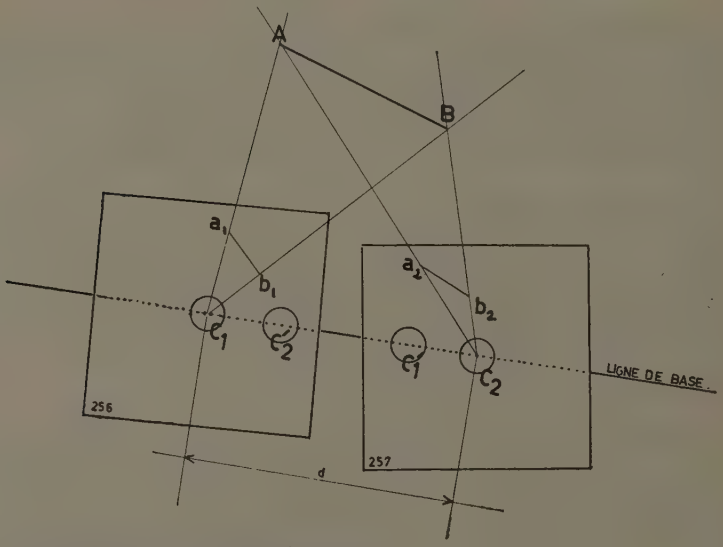
de centre à centre (en centimètres) ; L : distance réelle entre les deux points sur le terrain représentés par ces centres (en centimètres).

INTERPRETATION

Les clichés mis en place et le couple parfaitement orienté, c'est-à-dire l'image plastique bien visible et facile à lire, on peut dire avoir terminé un travail fastidieux, mais de loin le plus facile.

Tout reste en effet à faire au moment où on s'attache à la prospection et à l'interprétation de la photo.

Si la photo représente une région peu peuplée (Sahara, Kasaï, Rocheuses) on peut espérer une observation assez facile et exempte d'erreurs ainsi que des résultats rapides et satisfaisants. Cependant, il ne faut pas, par ce moyen se croire dispensé de tout travail sur le terrain.



Restitution planimétrique.

FIGURE 4

d : distance *arbitraire* entre les centres des deux clichés du couple.

a_1, b_1 et a_2, b_2 : points homologues sur les deux clichés de deux points sur le terrain.

C_1, C'_1, C_2, C'_2 : Nadirs et points principaux *alignés* sur la ligne de base.

A, B : points terrain reportés sur le plan.

L'utilisation de la photo aérienne est en effet une application du principe de la généralisation : une région est bien connue géologiquement, phytosociologiquement ; on la photographie et on établit une relation entre l'aspect sur le cliché et la réalité ; on photographie d'autres régions inconnues et on compare les clichés obtenus aux clichés des régions connues.

Mais en Belgique, où il n'y a pas un hectomètre carré qui ne porte l'empreinte de l'activité humaine, de quel secours nous sera la photographie verticale ? Faible en vérité, et, je veux faire mienne une phrase du lieutenant Thonnard : « La photogéologie en Belgique est difficile et décevante ».

Cependant certains exemples ont démontré quels services elle pouvait rendre lorsqu'elle était intelligemment et *prudemment* maniée.

La première question que l'on est tenté de poser est évidemment : « Existe-t-il des clefs d'interprétation ? » Il en existe plusieurs mais elles ont surtout été créées à l'usage des géographes et s'attachent surtout à l'interprétation des travaux de l'homme ; d'autres sont plus biologiques, en particulier les clefs pour les forestiers américains ou français. L'Institut Géographique National français a publié deux très remarquables atlas de couples montés pour l'analyse stéréoscopique mais ce sont plus des ouvrages didactiques que de atlas de référence ou des outils de travail.

Il est pratiquement impossible de dicter des règles précises d'utilisation des photos. Ce n'est que par la pratique que l'on arrive à en tirer le maximum de renseignements et encore revient-on souvent en arrière pour s'apercevoir d'une erreur ou d'une interprétation par trop hasardeuse.

Cependant, certaines règles tout à fait générales — et parfois fort difficiles à suivre — pourraient être énoncées.

Quel que soit le but de l'interprétation (géologie, pédologie, sylviculture), on ne peut se dispenser de faire une étude aussi complète que possible de tous les caractères du cliché. C'est qu'en effet les facteurs physiques, biologiques, humains sont intimement unis et souvent l'apport de l'un éclaire l'interprétation de l'autre.

L'étude d'un couple peut être conduite de deux façons bien distinctes. Dans une *analyse régionale* on étudie tous les facteurs dans une surface assez restreinte : faits physiques, biologiques, humains dans un cadre assez réduit comme le champ de l'oculaire stéréoscopique par exemple. Dans l'*analyse générale* on étudie un des facteurs sur tout le couple, puis on recommence pour un autre.

Lorsqu'on se trouve sur le terrain, photos en mains, il est évident qu'on ne peut procéder qu'à l'analyse régionale. De plus cette méthode présente une meilleure précision que l'analyse générale. On se délimite

une aire assez restreinte et on y choisit plusieurs points de repères. Cette aire peut être allongée, mais étroite : une route et ses abords ou un cours d'eau dont les écluses ou les anses seraient autant de points de repère. A partir de cette aire initiale, on chemine de point de repère à point de repère. On note ou on mémorise les phénomènes particuliers observés.

Il s'agit ensuite de synthétiser ces observations et par quel facteur faut-il commencer ? Il semble logique de définir d'abord les éléments du cadre physique, du moins dans les grandes lignes. Et pour les définir, il est nécessaire de préciser le réseau hydrographique. Dans la morphologie normale de nos régions, c'est lui qui induit les caractères les plus apparents du relief. Si un *fleuve* est facile à repérer par sa largeur, un *ruisseau* est également décelable mais plus par les phénomènes qu'il engendre que par perception directe : dans les bois, il marque la végétation d'une traînée plus dense et souvent plus basse ; dans d'autres cas, par contre, il représente un obstacle à la vie et on voit apparaître une trace plus claire, plus herbeuse ou les ombres des arbres isolés se profilent clairement. *Les marais et les fanges* se trouveront soit sur le dôme des plateaux, soit dans les dépressions ; on les reconnaît à leur teinte plus claire que celle des prés ou des pâtures et à leur aspect « marbré ». De plus — sur les dômes en particulier — on repère facilement les canaux de drainage. De toute façon, la position topographique est déterminante. Le ruisseau ou l'eau stagnante apparaissent plus sombres que n'importe quel détail ; cependant, l'eau agitée de remous sera marquée de taches claires occupant des positions différentes sur les deux clichés d'un même couple, ce qui entraîne parfois une certaine difficulté à superposer correctement les deux clichés et à obtenir rapidement une bonne vision stéréoscopique. Dans le fond des fleuves ou des étangs, on peut percevoir les bancs de sable ou les galets : c'est en effet une des propriétés de la vision stéréoscopique que de permettre de percer l'épaisseur des eaux.

Le système hydrographique de la région nous permet déjà de nous faire une idée des grandes lignes du relief. Celui-ci sera étudié d'une manière plus détaillée en procédant du général au particulier, c'est-à-dire qu'après avoir observé l'allure générale avec des oculaires faibles, on pourra passer à l'étude détaillée, zone après zone, avec des oculaires plus puissants et, éventuellement, faire des pointés stéréoscopiques sur les détails culminants ou en contre-bas. Parfois, on souligne le thalweg d'une vallée ou la crête d'une colline au moyen de signes conventionnels qui clarifient le paysage.

Dans la détermination du relief de détail, une attention particulière sera accordée à l'étude des *talus et des escarpements*. Pour la géographie physique comme pour la géologie, c'est souvent une observation clef que celle des changements brusques de pentes. La vision stéréoscopique aidée de la barre parallactique suffit souvent à déterminer ces rup-

tures (1). Cependant, si on ne possède pas de barre parallactique, la rupture reste encore souvent décelable pas sa position géographique (versants de vallée à l'approche d'une confluence, sous-sol dur dans le lit supérieur d'un ruisseau, parties affouillées dans les méandre d'un cours d'eau) ou par les phénomènes qu'elle engendre (disparition de la culture ou fortes modifications des pratiques culturales, jalonnement par des arbres ou arbustes, changement de couleur par différence d'exposition ou de profondeur ou d'humidité). Signalons ici que l'escarpement d'une carrière en activité ou abandonnée se signale le plus fréquemment par une tache blanche et est la plupart du temps visible sans le secours de la barre parallactique, même lorsqu'elle est envahie par la végétation.

Ceci nous amène à parler de la *couverture du sol.* Il est facile de distinguer les bois des cultures basses et dans les bois, de distinguer entre feuillus et conifères. Mais il faut aussi arriver à distinguer les essences et les régimes. Le mieux à faire pour cela, plutôt que d'essayer de longues et difficiles descriptions est de consulter le magnifique atlas édité par l'Institut géographique National français, et de procéder par comparaison. Non seulement, cet atlas permet de distinguer les différentes forêts mais, dans les cultures, il donnera la distinction entre les avoines, les froments, les luzernes, les terres labourées à différentes périodes de l'année. C'est un outil précieux, mais malheureusement très onéreux. Dans les végétations basses, il est souvent difficile de distinguer entre cultures, herbages, prés ou terres incultes. La teinte (claire dans les herbages), la forme (géométrique et régulière dans les cultures), les arbres (rares ou en coin dans les cultures), la pente (faible dans les cultures) peuvent donner des indices d'interprétation. Signalons que souvent les *terres cultivées* laissent deviner les sillons parallèles, même lorsque les cultures sont à maturité et hautes. En général, l'interprétation des cultures basses exige une grande habitude des photos aériennes et — ce qu'on oublie souvent — demande aussi que les photos présentent les mêmes tons pour les mêmes détails, c'est-à-dire que l'exposition, le développement, le tirage, la fixation des deux clichés d'un couple ou des quelques dizaines d'une mosaïque soient tels que ceux-ci se correspondent. On dit alors que les clichés sont « harmonisés ». On y arrive après développement des positifs par des procédés de renforcement et d'affaiblissement photographiques (bains chauds et ferricyanure).

Les *voies de communications* sont enfin à étudier car elles permettent de déceler certains caractères de pentes, d'abrupts, de régions humides qui auraient pu passer inaperçus sous un premier examen. La voie de communication ne peut pas être étudiée couple par couple ;

(1) Le point double de la barre parallactique est confondu en un seul lorsqu'on est « au sol ». En cheminant à travers le couple, on verra ce point se dissocier en deux autres si on plonge dans le sol et on le verra « flotter » si on s'élève au-dessus du sol (si le sol s'abaisse). D'où le nom de « ballonnet » donné à ce point double.

elle dépasse le cadre du cliché. Il est nécessaire d'accoler les photos côte à côte pour réaliser une sorte de grossière mosaïque non contrôlée. On pourra ainsi se faire une idée exacte du trajet parcouru entre les points à relier et repérer les détours et les lacets anormaux. Il faut aussi pouvoir distinguer entre route et chemin de fer (teinte plus sombre pour la voie ferrée et profil en long plus ample). Le long des voies comme le long des routes, les talus où la roche est à vif (teinte gris clair en général suivant la nature de la roche), les tranchées, les tunnels sont autant de points à visiter en premier lieu lors d'une étude géologique. Comme on les connaît d'avance et qu'il est possible de se diriger sur le terrain avec une photo aérienne, on pourra chercher les voies d'approche les plus faciles et éviter la perte de temps d'une prospection en pays inconnu, longue et forcément un peu livrée au hasard.

Ces quelques notes sur l'emploi des photographies aériennes n'ont certes pas la prétention d'être un cours de photogrammétrie ni même de le remplacer. Cependant, si quelque chercheur ou praticien pouvait bénéficier dans son travail de l'aide si souvent précieuse du cliché aérien et qu'il le doive à ces lignes, j'estimerais ne pas avoir perdu mon temps.

BIBLIOGRAPHIE

ABDULLAH, Ch. — Notions de photogrammétrie terrestre et aérienne. Baillière et fils. Paris 1934.

ABRAMS. — Essentials of Aerial Surveying and photo interpretation. Mc. Graw-Hill N. Y. 1944.

ANDREWS. — Survey and Forestry in Germany. For. Chron. T. X. 1934.
Tree heights from air photograph by simple parallax mesearuments. Ibid : XII. 1936.

ASCHENBRENNER. — Interpretation of tridimensional form from Sterco Pictures. Phot. Eng. XVIII. 3. 1952.

AUFRISE. — Le cycle morphologique des dunes. An. de Géogr. XL. 1931.
Utilisation de la photographie zénithale dans l'étude de l'évolution des des dunes. Compte rendu Congrès intern. Géogr. Paris. 1. 1931.

BELCHER. — Identifying Lands forms and soils by aerial photography. Proceeding. 30^{me} année. Mars 1944.

BRUNNLER. — Géographie humaine. T. III. Vision aérienne de la terre. Paris. Alcan. 1925.

Ch. de LAUWE. — Exemple d'exploitation d'une vue aérienne. Découverte aérienne du monde. Paris 1948.
Photos aériennes. Interprétations. Paris. Colin. 1951.

CROCHET-DARNER. — Exploration aérienne. Découverte aérienne du monde. Paris. 1949.

de MARTONNE. — Géographie aérienne. Colin. Paris. 1948.

HORLAVILLE. — Intérêt des stéréogrammes aériens dans l'enseignement de la géographie physique. (Atlas). I. G. N. Paris. 1951.

HURAULT. — Manuel de photogrammétrie I. G. N. Paris. 1948.
Eléments de photogrammétrie I. G. N. Paris. 1949.

I. G. N. — Note sur l'exploitation topographique des photographies par des procédés simples. Paris. 1940.
Collections de stéréogrammes. (Atlas). Paris. 1947.

I. G. M. — Cours de photogrammétrie et données de photo-interprétation de l'Institut Géographique Militaire.

LEMAIRE. — Restitution altimétrique au stéréocomparagraphe Fairchild. I.G.M. 1950.

ID., DEGRAEVE, VERDIN. — La photogrammétrie à l'Institut géographique militaire. Bull. Soc. belg. de photogrammétrie. N° 29. 1952.

LIAUTEY. — Géographie aérienne. La Géographie. Mars 1935.

LINTON. — Emploi de la photographie aérienne dans l'enseignement. Rapport de la commission pour l'étude des photos aériennes. Cong. int. de géogr. Washington. Paris. 1952.

LLOYD. — Classification of the ground from the air. Géogr. journal. LVI.

MINISTERE DE LA GUERRE. — 2me bureau. Centre d'interprétation des photos aériennes. Manuel 1re partie. Livre théorique. Paris. Avril 1947.

PHOTO INTERPRETATION SYMPOSIUM. — Photogrammetric engineering XIX 1953.

ROBINSON. — Estudo de solos com fotografias aéréas. Bull. géogr. Brasil. 94.

ROSCOE. — Photo interpretation keys. Headquarters. U. S. air forces. Direction of intelligence Washington. Mars 1951.

TROCHAIN. — L'aviation au service de l'agronome et du botaniste. Revue des forces aériennes. Paris. 1932.

U. G. I. — Rapports. Lisbonne. 1949. (Commission permanente de photographie aérienne).

WOODTLE. — Introduction à la photogéologie. Bull. agr. C. B. XLV. n° 6. 1954.

Autorisation à la publication des photos aériennes n° D/163.823.

NOTE

Note concernant la séparation des acides ω aminés par chromatographie sur papier en présence de tampon (*)

par

S. GERLAXHE et J. CASIMIR

La chromatographie sur papier en présence de solvants tamponnés a été utilisée pour la première fois par Mc Farren (1). Celui-ci décrit une méthode permettant de séparer chaque acide aminé des autres en effectuant une série de chromatogrammes monodimensionnels et il donne plusieurs tableaux de Rf des acides aminés pour une série de solvants tamponnés à différents pH variant entre 1 et 12. Mc Farren n'a pas appliqué la méthode à la séparation des acides ω aminés. Plusieurs de ces acides aminés sont biologiquement importants, c'est le cas de la β alanine et de l'acide γ aminobutyrique ; l'acide δ aminovalérique et l'acide ε aminocaproïque sont susceptibles d'être trouvés dans la nature. Synge (2) a mis au point une méthode permettant la séparation des acides ω aminés d'extraits végétaux par électrophorèse sur silicagel puis par chromatographie sur papier ou sur colonne de poudre de cellulose. Synge dans son travail donne les valeurs des Rf des acides aminés pour une série de mélanges butanol-acide acétique-eau. Gerlaxhe et Renard (3) ont mis au point une méthode permettant de séparer les acides aminés sur papier bidimensionnellement par chromatographie dans une direction et par électrophorèse dans l'autre.

Dans cette méthode le groupe des acides ω aminés est nettement séparé des autres acides aminés. Il nous a paru intéressant d'étudier la séparation des acides ω aminés par les solvants tamponnés dans le but d'améliorer leur séparation.

(*) Déposé à la rédaction le 28 mars 1955.

TECHNIQUES

Les feuilles de papier Schleicher et Schüll n° 2043 b sont vaporisées avec une solution de tampon approximativement 0,066 M ; puis, séchées à l'air. Les solvants sont préparés par agitation avec le même tampon dans une ampoule à décanter ; la couche riche en solvant est utilisée pour la chromatographie. Les expériences ont été réalisées avec des solutions à 2 % des différents acides aminés. Après développement et séchage, les chromatogrammes sont révélés par vaporisation avec une solution de ninhydrine à 0,25 % dans l'éthanol. On ajoute à cette solution 2 % d'acide acétique pour révéler les chromatogrammes tamponnés entre pH 7,5 et 9 et de 5 à 7 % d'acide acétique pour ceux tamponnés entre pH 9 et 12. Les spots apparaissent par chauffage au four 10 minutes entre 90 et 95°. Le tableau 1 donne la composition des mélanges tampons utilisés.

TABLEAU 1

Mélanges tampons

pH	*Molarité et proportion des sels*
3,9	150 ml d'acétate de sodium 0,2 M + 850 ml d'acide acétique 0,2 M
6,4	300 ml de Na_2HPO_4 0,066 M + 700 ml de KH_2PO_4 0,066 M
8,5	50 ml d'acide borique 0,2 M et KCl 0,2 M + 8,5 ml NaOH 0,2 M portés à 200 ml
10,4	50 ml d'acide borique 0,2 M et KCl 0,2 M + 43,9 ml NaOH 0,2 M portés à 200 ml

RESULTATS

TABLEAU 2

Rf des acides aminés obtenus par chromatographie sur papier avec des solvants au butanol tamponné

Acides aminés	pH			
	3,9	6,4	8,5	10,4
β Alanine	0,08	0,06	0,03	0,05
Acide γ aminobutyrique	0,14	0,10	0,10	0,11
Acide δ aminovalérique	0,20	0,15	0,20	0,19
Acide ε aminocaproïque	0,29	0,24	0,35	0,28

Parmi les différents solvants étudiés, le butanol a donné les meilleurs résultats. L'utilisation du phénol, du propanol et de l'isopropanol présente peu d'intérêt. En examinant les résultats obtenus (tableau 2)

il est difficile d'établir l'influence du pH sur la valeur des Rf, il faut cependant signaler que le butanol saturé de tampon à pH 8,5 a donné de meilleures séparations des acides ω aminés que celles signalées dans la littérature. En conclusion, l'électrophorèse sur papier en présence d'acide acétique à pH 2,4 (3) suivie de la chromatographie au butanol à pH 8,5 semble la méthode la plus simple pour séparer les acides ω aminés dans les milieux biologiques.

BIBLIOGRAPHIE

(1) Mc FARREN, E. F., 1951. — Analytical Chem., 23, 168.

(2) SYNGE, R. L. M., 1951. — Biochem. J., 48, 429.

(3) GERLAXHE S. et RENARD M., 1954. — Communication au 27^{me} Congrès de chimie industrielle. (A paraître).

(Laboratoire de Chimie Générale et Centre National de Chimie Organique).

Bibliographie

BRENY, R. et DETROUX, L. — Au sujet de la polyphagie de Sitodrepa panicea, L. (Col. Anobiidae) — *Parasitica* T. X, n° 4, p. 110 à 146.

Les auteurs citent les différentes matières qui peuvent être attaquées par *S. panicea* et ensuite signalent les dégâts que cet insecte cause aux épis charbonneux d'escourgeon *(Ustilago Hordei Pers-charbon vêtu de l'orge).*

Les auteurs signalent également avoir, dans ces épis charbonneux, relevé la présence d'un Psocide : *Atropos divinatoria, Mull* qui vivait vraisemblablement aussi aux dépens du champignon.

⁂

DETROUX, L. — Renseignements techniques sur l'emploi des herbicides dans nos principales plantes cultivées — *Revue de l'Agriculture,* 8me année, n° 2, février 1955, p. 157 à 169.

L'auteur examine quels sont les types d'herbicides qui peuvent être utilisés pour chacune des plantes cultivées suivantes : céréales d'hiver (froment, escourgeon, seigle), céréales de printemps (froment et orge de printemps, avoine), maïs, lin, betteraves, pois, haricots, trèfles, luzernes, fraisiers, oignons, poireaux, carottes, asperges.

Il définit les techniques d'emploi, détermine les époques d'application et les précautions particulières dont il faut tenir compte.

⁂

LACROIX, L. et DETROUX, L. — Essais de désherbage chimique des cultures de maïs — *Revue de l'Agriculture* — 8me année, n° 2, février 1955, p. 170 à 184.

Cette étude comprenait deux essais. Dans l'un, toutes les parcelles, bien que traitées avec des herbicides, étaient binées et sarclées pour y empêcher l'implantation des adventices et dans l'autre, elles ne l'étaient pas, de sorte que l'on pouvait déterminer l'influence favorable de l'herbicide sur le maïs et l'effet favorable de celui-ci dû à la disparition des mauvaises herbes.

De ces essais, dans lesquels furent comparés le MCPA, le 2,4-D (sel sodique), le DNBP et le CMU, il semble ressortir :

1° que le maïs souffre très rapidement de la concurrence des mauvaises herbes et en pâtit très fortement ;

2° qu'on peut envisager comme suit l'entretien des emblavures de maïs : peu après la levée du maïs, on effectuera un binage et pour éviter le sarclage dans la ligne, on exécutera une pulvérisation avec un colorant (DNBP, 900 mgr de matière active à l'Ha) lorsque la plupart des mauvaises herbes sont levées et qu'elles sont encore jeunes et peu développées (maïs 10 cm) ; on n'aura recours aux produits à base de Phytohormones (et dans ce cas il semble que le sel sodique du 2,4-D doive être préféré au MCPA) que lorsqu'on se trouve en présence d'une flore adventice peu ou pas sensible au colorant. Ils seront utilisés à la dose de 1 kg/Ha de matière active sur un maïs d'environ 10 cm. Par la suite, si nécessaire, et quel que soit le produit employé, on procédera à un second binage.

Communiqué

Concours pour le
PRIX PROFESSEUR HENRI ZWAENEPOEL

La rationalisation des méthodes de production animale et le développement de l'industrie des « aliments complets et complémentaires » nécessitent une collaboration étroite entre le monde scientifique de la recherche, l'industrie alimentaire et l'exploitation animale.

Dans le but de promouvoir en Belgique et au Congo Belge la recherche scientifique dans le domaine de l'alimentation animale, l'Association Professionnelle des Fabricants d'Aliments Composés pour Animaux a jugé opportun de proposer, sous le nom de « PRIX PROFESSEUR HENRI ZWAENEPOEL », un prix biennal de 50.000 francs à décerner au meilleur ouvrage traitant le problème de « l'aliment complet » ou de « l'aliment complémentaire » dans l'alimentation animale. La continuité de ce prix, qui sera alloué pour la première fois en 1956 et ensuite tous les deux ans, est provisoirement assurée jusqu'en 1962.

THEME. — L'étude demandée doit traiter un ou plusieurs problèmes posés par « l'aliment complet » ou par « l'aliment complémentaire » pour les animaux de la ferme.

Par aliment complet, il est entendu l'aliment industriel qui peut satisfaire tous les besoins de l'animal et qui est susceptible de stimuler ou de favoriser l'une ou l'autre production animale.

Par aliment complémentaire, il est entendu l'aliment industriel qui peut compléter par son ajoute une ration de base constituée par des produits de la ferme.

L'ouvrage peut traiter l'ensemble des problèmes alimentaires posés par toutes les exploitations animales ou se limiter à un ou plusieurs problèmes posés par une ou plusieurs branches de l'exploitation animale.

RENSEIGNEMENTS. — De plus amples renseignements concernant ce concours, tels que le règlement et la composition du jury, peuvent être obtenus soit au secrétariat de l'Association Professionnelle des Fabricants d'Aliments Composés pour Animaux, a. s. b. l., 27, rue des Paroissiens à Bruxelles, soit aux secrétariats des Universités, des Instituts Agronomiques et des Ecoles Vétérinaires.

Encyclopédie Agronomique et Vétérinaire

MANUEL DE L'AMELIORATION DES PLANTES

par **V. LATHOUWERS**

Docteur ès Sciences. Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux.

Tome I : L'Amélioration générale — En réimpression

Tome II : L'Amélioration du Froment, 580 pp., 66 fig. — 150,00

LE CHENE PEDONCULE ET LE CHENE ROUVRE

Leur culture en Belgique

par **A. POSKIN**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. 283 pp., 54 fig., 1 carte en couleurs, — br., 65,00

PHYTOTECHNIE DE L'HEVEA — (HEVEA BRASILIENSIS)

Botanique — Amélioration — Culture et Exploitation

par **M. FERRAND**

Ingénieur Agronome (A. I. Gx), Chef de la Division de l'Hevea de l'INEAC Directeur du Centre de Recherches de l'Inst. de Rech. pour les Huiles de Palme et Oléagineux de Paris.

1 vol. 432 pp., 67 fig., 2 hors-textes — 110,00

ELEMENTS DE MICROBIOLOGIE GENERALE ET AGRICOLE

par **G. VERPLANCKE**

Chargé de cours à l'Université de Gand et à l'Institut agronomique de Gand.

1 vol. in-8°, 328 pp., 105 fig. — Epuisé

LES BOVINS

par **J. LAHAYE** et **J. MARCQ**

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. — *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

Tome I : La Connaissance du Bétail, 1 vol. in-8°, 208 pp., 166 fig. — 130,00

Tome II : Vol. 1. Ethnographie. Hygiène. Reproduction. — En réimpr.

Vol. 2. Alimentation, 1 vol. in-8°, 644 pp., 20 fig. — En réimpr.

TRAITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

par **F. LIEGEOIS**

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. XXVI - 926 pp., 3e édition, 1949. — Sous presse

LA FERTILISATION DU SOL ET LES ENGRAIS

par **R. MEURICE**

Docteur en Sciences,

Directeur de la Station de Chimie et de Physique Agricoles de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8° ill., 280 pp. — Epuisé

TRAITE D'ECONOMIE RURALE

par **A. DELOS**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

Tome I : La Terre, 1 vol. in-8°, 280 pp., 25 fig., — br. 50,00

Tome II : Le Capital d'exploitation, 1 vol. in-8°, 372 pp., — Epuisé

PRECIS DE DROIT VETERINAIRE

par **F. LIEGEOIS**

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. in-8°, 332 pp., br. **60,00**

TRAITE COMPLET D'AVICULTURE

par **J. LAHAYE, J. MARCQ** et **E. CORDIEZ**

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. — *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, 660 pp., 219 fig., 9 hors-textes en quadrichromie, br. **375,00**

LE CHEVAL

par **J. MARCQ** et **J. LAHAYE**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux. — *Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

Tome I : Extérieur du Cheval, 304 pp., 193 fig. br. **175,00**

Tome II : Zootechnie spéciale. Alimentation. Hygiène. Amélioration.
Sous presse

LA CANNE A SUCRE AUX ANTILLES FRANÇAISES

par **J. GUILLAUME**

Ingénieur, Chef de Fabrication aux Antilles.

1 vol. in-8°, IX-215 pp., fig. br. **56,00**

ELEMENTS DE PATHOLOGIE VEGETALE

appliquée à la Phytotechnie

par **Em. MARCHAL**

Professeur émérite à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

P. MANIL et **R. VANDERWALLE**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux. — *Chargé de cours à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, XXIV-540 pp., 205 fig. br. **290,00**

ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE VEGETALE

Les bases scientifiques de la Phytotechnie

par **Em. MARCHAL**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, XVI - 344 pp., 131 fig. br. **225,00**

TRAITE DE SYLVICULTURE

par **A. POSKIN**

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, 532 pp., 166 fig. br. **260,00**

A TRAVERS LES FORETS DE PINSAPO D'ANDALOUSIE

Etude de Dendrologie, de Sylviculture et d'Entomologie forestière.

par **A. BARBEY**

Expert forestier, Docteur ès-Sciences.

1 vol. in-8°, 110 pp., 41 pl., br. **40,00**

Librairie Duculot, Gembloux